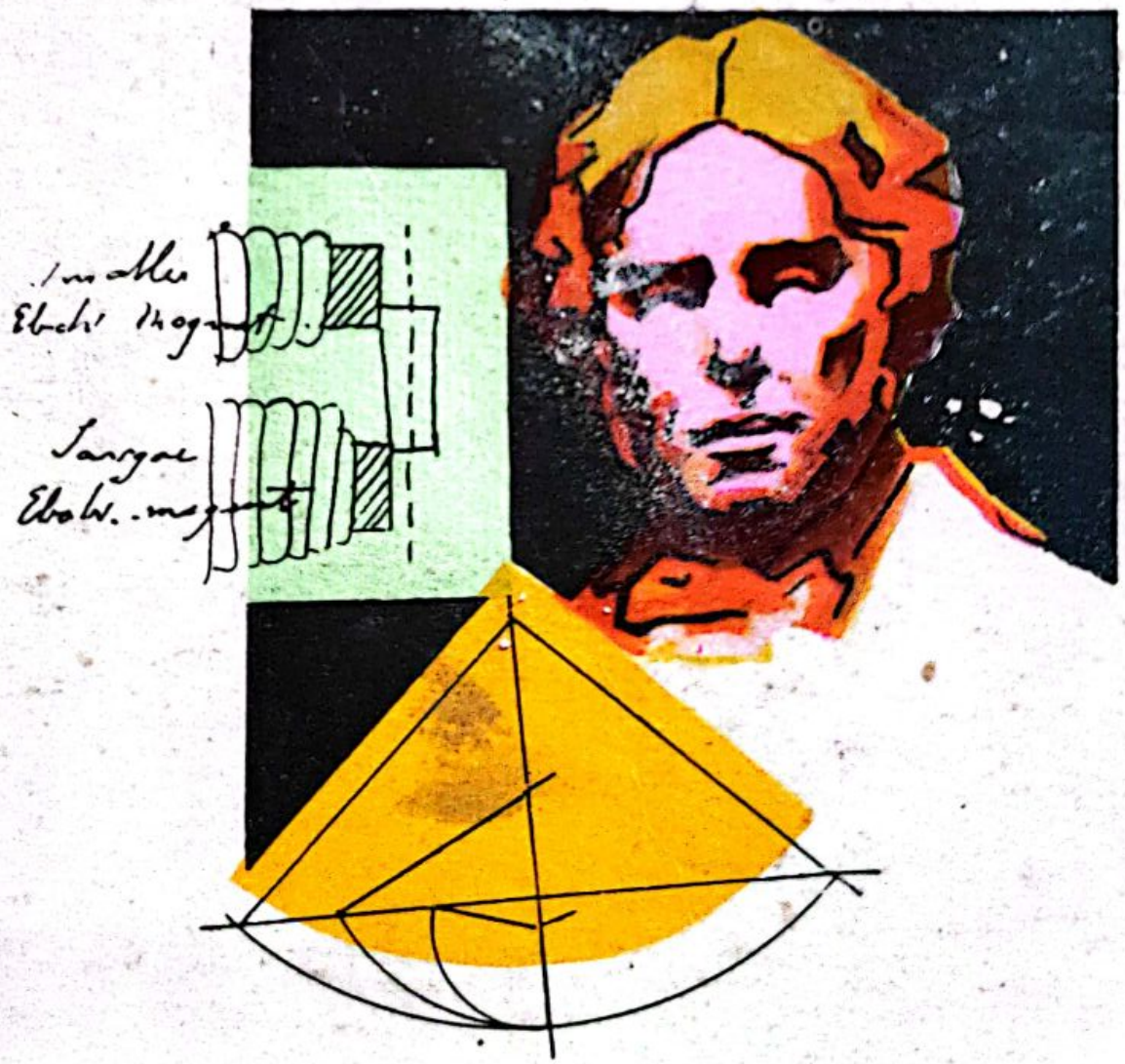
orizonturi

47

Henry S. Lipson

experiențe epocale în fizică



Scanned with CamScanner

Henry S. Lipson

Profesor de fizică la Universitatea
din Manchester
(Institutul de ştiinţă şi tehnologie)
Membru al Societăţii Regale din Anglia

Experienţe epocale în fizică

În româneşte de
ing. I. ANDREI

Bucureşti,
1973

Scanned with CamScanner

Prefață

Nădăjduiesc că această carte va fi considerată o lucrare de propagandă — o propagandă pentru fizica experimentală. Teoria a avut și are un rol important în fizică, dar ea s-a bizuit întotdeauna pe experiment și nu este acceptată decît atunci cînd duce la rezultate ce pot fi verificate experimental. Nu există nici un temei pentru părerea care, într-un fel sau altul, s-a strecurat în domeniul fizicii, că teoria s-ar situa pe un plan superior practicii și că elaborarea unei teorii noi ar fi de mai mare importanță decît efectuarea unei experiențe decisive. Cum adeseori experiențele de acest fel sînt, în sine, destul de simple, există posibilitatea ca cercetătorii de mai tîrziu să nu-și mai dea seama ce tur de forță a reprezentat la vremea sa concepția originală a acestor experiențe.

Scanned with CamScanner

Scriind această carte am urmărit să subliniez încă o dată însemnătatea experienţelor şi să arăt cum au contribuit ele ca fizica să capete aspectul sub care o cunoaştem astăzi.

În acest scop am scris o scurtă istorie a fizicii privită din punct de vedere experimental. Nu am încercat să descriu în amănunţime experienţele, m-am străduit însă să explic — în măsura în care mi-am putut da seama — de ce au fost efectuate, ce înrîurire au avut asupra altor domenii ale fizicii şi cum anume au reacţionat unii faţă de alţii fizicienii implicaţi. Să nu uităm că marii fizicieni au fost şi ei oameni obişnuiţi, cu simpatii şi antipatii, cu prejudecăţi şi ilogisme şi că unii din ei au avut chiar caractere destul de dezagreabile. Nu m-am dat în lături să le spun acestor lucruri pe nume atunci cînd am considerat că ele au influenţat într-un fel sau altul dezvoltarea fizicii.

Este evident că atît alegerea experienţelor cît şi felul în care sînt expuse implică un mare grad de subiectivitate. Nici nu încerc să mă scuz ; scopul pentru care am scris această carte nu ar fi fost atins dacă m-aş fi situat în afara fizicii şi aş fi încercat să o privesc dintr-un punct de vedere pur obiectiv. Dar pentru a marca momentele în care mi-am permis să fiu subiectiv, am scris la persoana întîi acele pasaje în care m-am lăsat antrenat de entuziasm. De asemenea — fiind eu însumi om de ştiinţă şi experimentator, nu istoric — nu am considerat necesar să indic exact şi amănunţit sursele documentare pe baza cărora am prezentat fiecare experienţă ; pentru marea majoritate a experienţelor am mers, în măsura posibilului, pînă la sursele originale, dar în

Scanned with CamScanner

privinţa cîtorva nu mi-am amintit cu precizie sursele, şi în prezent nu le pot da de urmă. Lipsa referinţelor şi a notelor de subsol este menită să împrăştie impresia că ar fi vorba de o lucrare „de erudiţie". Bineînţeles, m-am referit şi la alte cărţi şi mulţumirile adresate celor ce le-au publicat vor da o indicaţie cu privire la acele lucrări care am socotit că mi-au fost deosebit de folositoare.

H. LIPSON

Scanned with CamScanner

1

Mişcarea

Mişcarea este una dintre proprietăţile cele mai evidente ale materiei. Folosindu-şi muşchii, omul poate mişca anumite părţi ale corpului său şi se poate deplasa dintr-un loc într-altul ; el poate cauza mişcarea altor corpuri ; el poate folosi energia latentă din combustibilii naturali pentru a face ca vehiculele să se mişte conform cerinţelor lui. El ştie că dacă efortul încetează, mişcarea se va opri. Ce poate fi deci mai firesc decît presupunerea că mişcarea este ceva ce reclamă un efort şi că ea se menţine numai atît timp cît se depune efortul respectiv ? Această idee pare atît de firească încît enunţarea ei de către Aristotel (384—322 î.e.n.) a fost suficientă pentru ca de-a lungul secolelor ea să fie acceptată de toţi cei ce gîndesc.

Exista însă şi o dovadă a contrariului, dovadă pe care oricine o putea vedea. Traiectoria unui pro-

Scanned with CamScanner

iectil reprezintă o linie curbă. De ce ? Logica aristotelică afirmă că pentru a pune un corp în mişcare trebuie să i se dea un impuls ; impulsul va dura un timp oarecare, determinînd deplasarea pe o traiectorie ascendentă ; apoi, treptat, impulsul va slăbi, ceea ce ar corespunde porţiunii curbe a traiectoriei ; în cele din urmă impulsul va dispărea, lăsînd corpul în cădere liberă. Dacă acesta ar fi adevărul, partea finală a traiectoriei ar fi perpendiculară şi nu s-ar produce ricoşarea de un perete. Dar, după cît se pare, nimeni nu a înţeles în felul acesta mişcarea unui proiectil — sau, dacă da, a avut prudenţa să nu o spună.

Pentru a trece peste bariera pe care o reprezintă o asemenea concepţie şi pentru a reconsidera problemele, este nevoie de o minte cu adevărat mare. Galilei (1564—1642) a fost omul de la care a pornit impulsul înnoitor, şi anume în acel mare secol al XVI-lea cînd s-au conturat idei noi în atît de variate domenii de activitate. El şi-a afirmat convingerea că o deducţie trebuie verificată prin experienţă. Cît de fericit trebuie să fi fost el, constatînd că ideile sale sînt confirmate de experienţă şi că rezultatele experienţelor sale generează idei noi ! Şi cît de deprimat şi de dezamăgit trebuie să se fi simţit atunci cînd a constatat că edificiul atît de solid pe care îl construise din fapte şi teorie era pus la îndoială de către semeni ai săi şi că opoziţia acestora îi otrăvea viaţa. Cu toate acestea, pînă la sfîrşitul vieţii el nu a renunţat să-şi enunţe ideile şi să le consemneze pentru posteritate. Ştia cît de importante erau. Şi cît de multă dreptate avea.

Prima sa contribuţie la tezaurul ştiinţei a fost ideea că mişcarea nu are însemnătate prin sine în-

Scanned with CamScanner

săşi. Într-adevăr, un om aflat pe un vas izolat poate să nu ştie dacă vasul se mişcă sau nu, atîta vreme cît vasul are o mişcare uniformă ; el poate simţi însă *schimbări* ale stării de mişcare — acceleraţiile. Galilei nu pare să fi consemnat în scris această idee, considerînd-o ca de la sine înţeleasă. El spune, ca un lucru foarte obişnuit, că un corp care se mişcă fără frecare pe o suprafaţă plană orizontală va continua să se mişte cu o viteză uniformă. În realitate, această afirmaţie constituie o ruptură fundamentală cu teoria aristotelică.

Huygens (1629—1695) a dus ideea ceva mai departe ; el spunea că un asemenea corp se va mişca cu viteză uniformă „pînă cînd va întîlni un obstacol". Dar Newton (1642—1727) a fost cel care a stabilit că un corp se va deplasa cu o viteză uniformă pînă cînd o forţă exterioară va acţiona asupra lui, ceea ce constituie prima lege a lui Newton. (În multe privinţe, contribuţia lui Newton a constat în formularea clară şi concisă a unor legi — claritatea şi concizia fiind de mare ajutor pentru gîndirea corectă.)

Galilei a făcut primul pas însemnat în fizică dîndu-şi seama că importantă este *schimbarea* ce intervine în mişcare, iar nu mişcarea uniformă ca atare. Ceea ce importă sînt acceleraţiile, şi de aceea a început să studieze acceleraţia corpului în cădere liberă.

În primul rînd, a trebuit să precizeze ce anume se înţelege prin acceleraţie ; este vorba de o modificare a vitezei în raport cu timpul sau cu distanţa ? Nouă ne vine astăzi destul de greu să sesizăm în ce consta dificultatea acestei probleme, deoarece sîntem atît de obişnuiţi să acceptăm drept valabilă

Scanned with CamScanner

prima definiţie, dar pentru Galilei această problemă a constituit un obstacol pe care a trebuit să-l învingă înainte de a putea merge mai departe. Era de părere că un corp în cădere liberă are o acceleraţie uniformă ; de aceea a încercat să stabilească, pentru cele două definiţii ale acceleraţiei, relaţia dintre distanţa de cădere şi timp, astfel încît să poată verifica rezultatul prin experienţă.

De fapt, pe cea de-a doua definiţie a izbutit s-o înlăture exclusiv prin raţionament. Galilei spunea că dacă viteza unui corp este proporţională cu distanţa, atunci la capătul unei distanţe date viteza lui va fi jumătate din viteza care corespunde unei distanţe duble. Aşadar el va parcurge distanţa dublă într-un timp egal cu cel necesar pentru distanţa simplă, ceea ce este, evident, o absurditate (el confunda viteza finală cu viteza medie). Dar acest raţionament l-a făcut să se concentreze asupra definiţiei pe care o acceptăm în prezent. În *Dialoguri* el consacră un spaţiu important problemei acceleraţiei.

Dîndu-şi seama de dificultatea de a măsura timpul unei căderi libere a corpului, Galilei a născocit un mijloc de încetinire a procesului, şi anume în aşa fel încît corpul să se mişte în jos pe un plan uşor înclinat. Ştia teoretic că în felul acesta nu se va modifica decît ordinul de mărime al mişcării. El a efectuat următoarea experienţă. Într-o bucată de lemn de esenţă tare a scobit un şanţ perfect drept şi bine lustruit. Bucata de lemn a fost aşezată sub un anumit unghi faţă de planul orizontal (fig. 1). Pornind din poziţia de repaus, a lăsat o bilă de bronz să se rostogolească pe planul amintit. A măsurat timpii de parcurgere a diferite distanţe. Operaţia de măsurare a timpului s-a dovedit

Scanned with CamScanner

dificilă ; nu se inventaseră încă ceasurile. De aceea, el a folosit în acest scop scurgerea printr-un tub subţire a apei aflate într-un vas mare şi a cîntărit apa scursă în timpul deplasării bilei de la un punct de referinţă la un altul. A constatat că timpul este exact proporţional cu rădăcina pătrată a distanţei, ceea ce corespunde unei acceleraţii uniforme. Presupunerea sa se verificase.

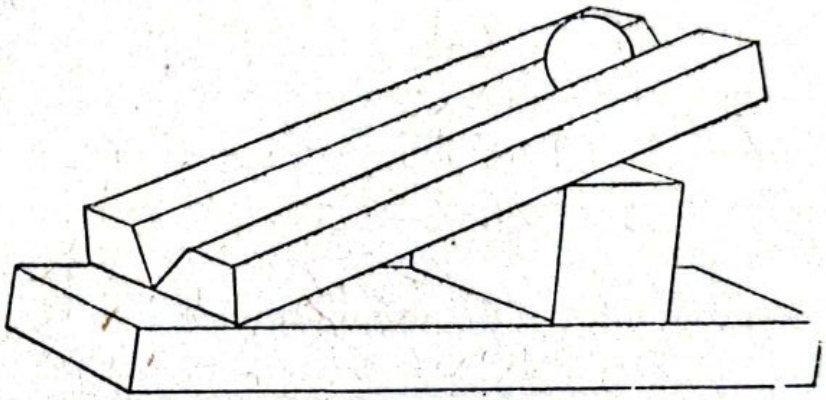


Fig. 1. Principiul experinţei efectuate de Galilei pentru studiul mişcării uniform accelerate.

Pentru a cerceta acceleraţia unui corp în cădere liberă, el a examinat mai întîi afirmaţia lui Aristotel, şi anume că viteza unui corp în cădere este proporţională cu greutatea lui. Aristotel făcuse probabil această afirmaţie pentru că un corp uşor, cum ar fi, de pildă, o frunză desprinsă din pom, cade mult mai încet decît o piatră ; el nu efectuase, evident, măsurători, care, fără îndoială, i-ar fi dovedit că greşeşte. Poate că expresia cantitativă trebuia să fie interpretată calitativ, şi anume că un corp uşor cade mai încet decît unul mai greu. Dar atunci cînd un om mare face o afirmaţie, oricît ar fi ea de greşită, oamenii mai puţin mari sînt încli-

Scanned with CamScanner

naţi să vadă în ea mai mult decît a fost în intenţia autorului ei.

Galilei a dedus prin următorul raţionament că afirmaţia era greşită. Să luăm două corpuri de greutăţi diferite, cel greu căzînd mai repede decît cel uşor. Cum s-ar comporta ele dacă ar fi legate unul de celălalt ? Cel uşor ar trebui să întîrzie căderea celui greu. Dar împreună ele formează un corp mai greu şi ar trebui deci să cadă chiar mai repede decît atunci cînd sînt separate. Singura ieşire din acest impas ar fi ca ele să cadă cu aceeaşi viteză.

Galilei a efectuat următoarea experienţă. A luat o ghiulea de tun în greutate de 200 de livre [1] şi un glonte de muschetă de circa 1/2 de livră şi le-a lăsat să cadă de la înălţimea de circa 200 de picioare [2]. Ele au atins solul în acelaşi moment, anunţînd astfel înmormîntarea teoriei aristotelice. Tradiţia pretinde că Galilei — care o parte din viaţă a fost profesor la Pisa — ar fi folosit pentru experienţa sa turnul înclinat din acel oraş. Pentru scopul urmărit ar fi fost, desigur, o clădire foarte indicată, dar nu există nicăieri nici un document scris din care să reiasă că turnul a fost folosit în acest scop. În lucrarea sa *Dialoguri* Galilei se referă în mai multe rînduri la această experienţă, dar nu o descrie în amănunţime. Şi totuşi aceasta a fost, poate, cea mai importantă experienţă din cîte a făcut în viaţa sa.

Ideile lui Galilei au fost reluate şi duse la bun sfîrşit de către Newton, care s-a născut în anul

---

[1] 1 livră = 0,4536 kg (*N.T.*).

[2] 1 picior = 0,3048 m. Circa 200 de picioare înseamnă aproximativ 61 m (*N.T.*).

Scanned with CamScanner

morţii lui Galilei — 1642. După cum am văzut, Newton a lămurit afirmaţia lui Galilei sub forma primei sale legi a mişcării, iar apoi — ceea ce a constituit un mare pas înainte — a enunţat-o sub o formă cantitativă, postulînd că acceleraţia este proporţională cu forţa care o cauzează, constanta de proporţionalitate fiind masa corpului.

S-a discutat mult despre logica acestei formulări ; Newton a definit masa ca fiind produsul dintre volum şi densitate, deşi densitatea nu poate fi definită decît cu ajutorul noţiunii de masă.

Este oare masa imposibil de definit, la fel ca lungimea sau timpul ? În ce mă priveşte, cred că, dacă am acceptat noţiunile de lungime şi timp, masa poate fi definită în funcţie de aceste noţiuni chiar dacă nu ştim altceva despre forţă decît că putem realiza oricînd o forţă constantă — de pildă, atîrnînd o greutate de o sfoară trecută peste un scripete ataşat de un cîrlig.

Putem măsura acceleraţia produsă atunci cînd cîrligul suportă o masă dată ; un alt corp are aceeaşi masă dacă aceeaşi forţă produce aceeaşi acceleraţie ; în felul acesta putem obţine un şir de corpuri cu masă egală. Combinînd un număr diferit de asemenea corpuri putem verifica afirmaţia că o forţă constantă produce o acceleraţie invers proporţională cu masa. Putem astfel găsi valoarea unei mase necunoscute, măsurîndu-i acceleraţia sub acţiunea acestei forţe.

Toate aceste experienţe nu ne spun despre forţă decît faptul că ea produce acceleraţie. Cunoscînd acum ce este masa, putem mări forţa aplicată, modificînd numărul de greutăţi atîrnate de sfoară şi făcînd presupunerea rezonabilă că forţa este propor-

Scanned with CamScanner

ţională cu masa ; putem verifica faptul că acceleraţia unei mase date este proporţională cu forţa şi acum putem găsi valoarea unei forţe necunoscute măsurînd acceleraţia pe care o imprimă unei mase cunoscute. Pe aceste căi putem verifica cele două legi ale mişcării şi putem defini masa într-un mod cu totul obiectiv.

După stabilirea acestor noţiuni de bază ale mecanicii, putem trece la una dintre cele mai remarcabile experienţe din fizică — o experienţă care de fapt nu era o experienţă, deoarece nu fusese plănuită ca atare, iar „observatorul" nu a fost decît un simplu spectator. Este vorba de căderea — în 1666 — a unui măr în grădina casei lui Newton.

Evenimentul este autentic, dar a fost adesea considerat ca fiind prea banal pentru a i se da crezare. Tuturor celor ce-şi închipuie că toţi oamenii de ştiinţă sînt foarte gravi şi că se ocupă exclusiv cu chestiuni importante, povestea mărului trebuie să le pară aproape o blasfemie. Cea mai strălucită minte din cîte au fost pe lume să se fi lăsat influenţată de comportarea unui măr ! Aşa ceva nu e cu putinţă ! Dar pentru cei ce cunosc cît de cît modul de gîndire al fizicianului, povestea pare atît de adevărată încît ar trebui dată ca exemplu : ce lucruri mari se pot deduce dintr-o întîmplare în aparenţă neînsemnată !

Newton a spus că atunci cînd a văzut mărul căzînd şi-a pus întrebarea de ce cade în jos şi nu lateral sau chiar în sus. La această întrebare el a răspuns aşa cum ar fi răspuns orice om cult din acele vremuri, şi anume că forţa de gravitaţie a Pămîntului determină căderea spre centrul Pămîntului. (Faptul că corpurile cad spre centrul Pămîntu-

Scanned with CamScanner

lui era considerat de unii drept dovadă că Pămîntul este centrul universului.) Apoi s-a întrebat cît de departe se extinde această forţă. Ea acţionează, evident, pe vîrfurile dealurilor şi ale munţilor. Merge oare sfera ei de acţiune mai departe ? *Ar putea ea oare să ajungă pînă la Lună ?* Cu alte cuvinte, este Luna un fel de măr uriaş, atras încontinuu de Pămînt, cu o forţă exact suficientă pentru a o împiedica să zboare tangenţial în spaţiul cosmic ?

Marea contribuţie a lui Newton a fost ideea că forţa gravitaţiei ar opera în întregul spaţiu cosmic. Ipoteza putea fi verificată cu ajutorul unor date cunoscute— durata unei luni selenare, distanţa dintre Pămînt şi Lună, raza Pămîntului şi valoarea lui *g*. Tot ce-i mai rămînea de făcut era să afle dacă forţa care acţionează asupra Lunii este exact cea necesară pentru a o menţine pe o orbită circulară ; dacă ar fi prea mică, ea ar permite Lunii să se depărteze de Pămînt, iar dacă ar fi prea mare ar aduce-o pe o orbită spirală spre Pămînt. Newton a efectuat repede calculele, pornind de la premisa că forţa de gravitaţie scade invers proporţional cu pătratul distanţei şi a constatat că acceleraţia Lunii este aproape cea calculată — cu numai o optime mai mică.

Pentru orice om obişnuit, descoperirea ar fi fost atît de uluitoare, încît ar fi meritat să fie trîmbiţată în întreaga lume prin toate mijloacele posibile. Pentru Newton era, desigur, interesantă, dar savantul era dezamăgit de faptul că nu obţinuse un rezultat mai apropiat. Abia după şaisprezece ani, cînd a aflat date mai precise şi a izbutit să reducă eroarea la numai 2%, şi-a făcut cunoscută descoperirea.

Scanned with CamScanner

S-au scris multe despre modestia lui Newton. Chiar dacă el ar fi considerat că intervin şi alţi factori de mai mică importanţă — de pildă efectul turbionar al lui Descartes —, gravitaţia era, desigur, factorul principal. Nu avem motive să credem că a fost atît de contrariat de mica neconcordanţă încît timp îndelungat să nu se mai ocupe de această problemă, cu atît mai mult cu cît în mod deliberat folosise pentru calculele sale numai valori aproximative. Mai probabil este că era satisfăcut de faptul că rezolvase problema ; şi dacă *ştia*, de ce să se mai ocupe de ea ? O asemenea atitudine era în concordanţă cu multe alte cazuri cînd se abţinuse să împărtăşească altora rezultatele la care ajunsese pînă nu se ivea ceva care să-i aducă aminte să o facă.

Aşadar, la vîrsta de 23 de ani, Newton a făcut una din cele mai mari descoperiri ale tuturor timpurilor, şi anume că gravitaţia este o forţă universală, care se extinde în întregul spaţiu extraterestru. Ea poate fi aplicată întregului sistem solar şi a oferit, în sfîrşit, baza teoretică pentru legile pe care Kepler le-a dedus cu atîta trudă din observaţiile astronomice efectuate de Tycho Brahé. Putem astfel vedea cum, pornind de la date extrem de reduse, un om excepţional poate construi o concepţie cu consecinţe de foarte mare amploare.

Trebuie să revenim acum la o altă experienţă efectuată de Galilei — experienţa prin care a descoperit izocronismul pendulului. S-ar putea crede că ar fi mai judicios dacă ne-am ocupa mai întîi numai de descoperirile lui Galilei, pentru a păstra ordinea cronologică. Acest lucru ar contraveni însă scopului urmărit de prezenta carte : încercarea de a prezenta dezvoltarea fizicii în mod sistematic. Ma-

Scanned with CamScanner

nualele trebuie neapărat să expună obiectul lor în mod sistematic, deoarece altfel nu ar fi înţelese de elevi. Dar elevului nu trebuie să i se creeze impresia că fizica s-ar fi constituit în mod sistematic. De obicei, mai întîi au apărut părţile fundamentale şi abia mai tîrziu completările sistematice. S-a întîmplat adesea — mai ales în perioada de început a fizicii — ca o idee fundamentală să nu poată fi dusă pînă la capăt decît după moartea celui ce o enunţase, aşa încît acesta nu a putut să vadă toate implicaţiile ideilor sale. Astfel, deşi a avut o viaţă îndelungată, Galilei nu a apucat să vadă modul minunat în care Newton i-a sistematizat teoriile din domeniul mecanicii.

Galilei a efectuat experienţa cu pendulul — ca şi în cazul mărului lui Newton — nu ca urmare a unei intenţii, ci datorită unui fenomen pe care o mulţime de oameni îl observaseră, dar care nu a declanşat decît imaginaţia unuia singur. Galilei spune că observase de mii de ori un candelabru balansîndu-se într-o catedrală. Capriciile curentului de aer îl făceau să oscileze cu amplitudini diferite, dar totdeauna i s-a părut că perioada oscilaţiei era constantă. Cum putea să verifice acest lucru ? Avea nevoie de un mijloc de cronomentrare, dar, bineînţeles, un asemenea mijloc nu exista. Atunci s-a folosit de propriul său puls — o mişcare regulată la care numai un fizician se putea gîndi. Bănuiala sa s-a dovedit a fi întemeiată : perioada — pe cît putea să-şi dea seama — *era* constantă.

Această poveste ne dezvăluie unele trăsături caracteristice ale strălucitului savant. În primul rînd, capacitatea lui de a recunoaşte importanţa unui fenomen în aparenţă banal. În al doilea rînd — şi

Scanned with CamScanner

accasta se referă în special la fizician —, imposibilitatea de a nu se ocupa în permanenţă de problemele fizicii, chiar şi în împrejurările cele mai „nepotrivite", cînd gîndirea lui Galilei ar fi trebuit, poate, să se concentreze asupra unor chestiuni mai elevate, căci era un om evlavios. În al treilea rînd, inventivitatea sa în a improviza mijloace de măsurare cînd se părea că nu dispune de nimic potrivit.

Galilei s-a convins că pendulul este izocron. De fapt era chiar prea convins. Mai tîrziu a afirmat că perioada este constantă pentru amplitudini cuprinse între 4′ şi 90° ! (Ca om de ştiinţă nu era atît de meticulos ca Newton. Aşa, de pildă, a afirmat în mod categoric că forma unui şnur uniform pe toată lungimea lui, atîrnat între două puncte fixe, este o parabolă, deşi noi ştim că ea este aceea de lănţişor). Dar unui om de talia lui Galilei i se poate ierta faptul că, cu un prilej sau altul, s-a lăsat antrenat de entuziasm. Într-adevăr, dispozitivul său de măsurare a timpului era foarte imperfect şi perioada pulsului putea foarte uşor să se accelereze cînd savantul a constatat că ideea lui se verifica. La a mia oară, emoţia ar fi dispărut, desigur.

Galilei dispunea în orice caz de un dispozitiv obiectiv de măsurare a timpului, care i-a permis să-şi dezvolte ideile. A stabilit relaţia dintre perioadele pendulelor de lungimi diferite ; folosind greutăţi din plumb şi din plută, el a demonstrat că perioada nu depinde de masă, deşi pendulul cu greutatea din plută se opreşte mai repede ; a introdus noţiunea de rezonanţă, arătînd că un pendul greu poate să-şi menţină amplitudinea dacă primeşte un impuls în sincronism cu propria sa mişcare (a aplicat aceste

Scanned with CamScanner

idei — după cum vom vedea în capitolul respectiv — la studiul sunetelor) ; a făcut ca în oscilaţia sa pendulul să atingă un cui (fig. 2) şi, arătînd că greutatea ajunge la înălţimea de plecare, a pus bazele actualelor noastre concepţii despre energia

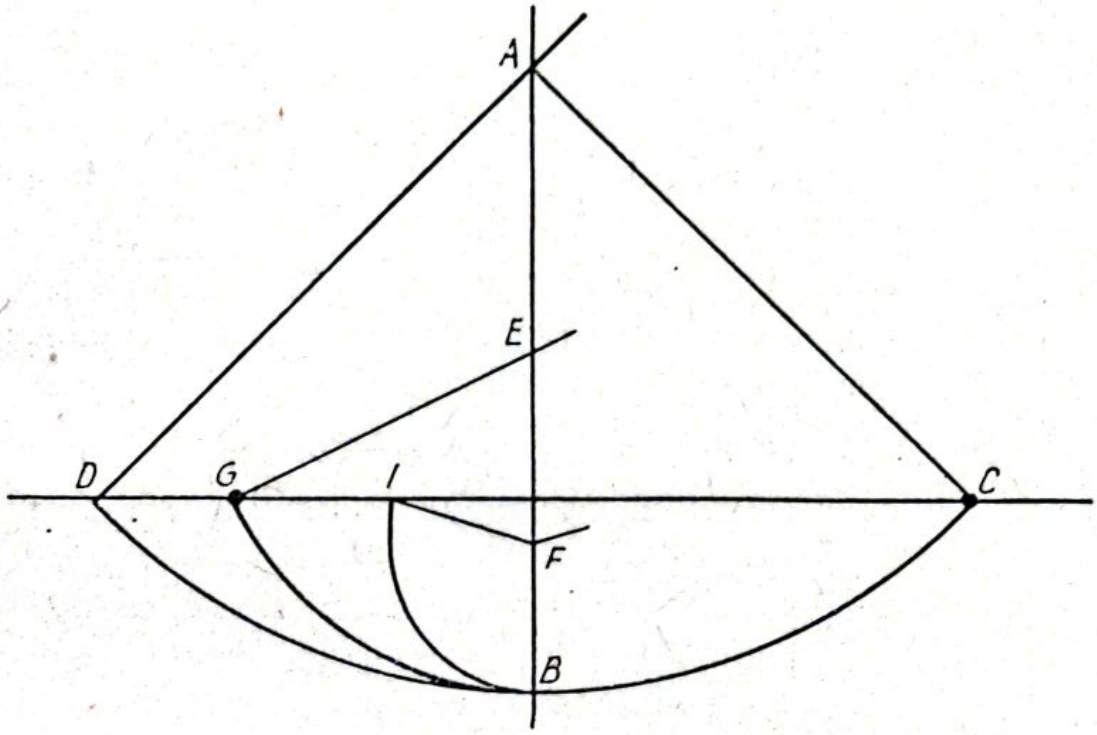


Fig. 2. Schiţa lui Galilei care prezintă experienţa efectuată cu pendulul. Cînd coarda *AC* se loveşte de un cui în punctele *E* sau *F*, greutatea pendulului se ridică la aceeaşi înălţime (*G* sau *I*) ca aceea (punctul *D*) la care ajunge atunci cînd mişcarea lui nu este stînjenită.

cinetică şi potenţială. Este, într-adevăr, fascinant să observi cum un singur fenomen a putut să dea naştere atîtor idei în mintea lui Galilei.

Rezultatul pe care l-a obţinut Galilei a avut o importanţă practică imediată ; astfel, a fost folosit de către medici pentru a măsura frecvenţa pulsului la pacienţi. A oferit un mecanism pentru reglajul ceasornicelor, mecanism pentru a cărui construcţie

Scanned with CamScanner

a fost nevoie de multă ingeniozitate. Dar ce importanţă a avut acest rezultat pentru cercetările fundamentale în fizică ? A devenit posibilă verificarea mai precisă a constanţei lui g, acceleraţia în cădere liberă, iar aceasta a ridicat o problemă căreia nici pînă astăzi nu i s-a găsit încă soluţia.

Problema se referă la natura masei. În legile lui Newton, masa apare sub două aspecte diferite ; în cea de-a doua lege a mişcării ea apare ca o constantă de proporţionalitate între forţă şi acceleraţie — masa de inerţie —, iar în legea gravitaţiei ea apare ca o constantă definind forţa de atracţie a două mase — masa de gravitaţie. Experienţa cu pendulul arată că cele două mase sînt perfect egale. Newton şi-a dat seama de importanţa acestei concluzii şi, repetînd experienţele lui Galilei cu mai multă precizie, a ajuns la acelaşi rezultat. De ce este masa de inerţie a unui corp egală cu masa lui gravitaţională ? Problema a fost reluată de-a lungul secolelor, dar nu şi-a găsit încă răspunsul.

Pentru a se completa legea gravitaţiei formulată de Newton este necesar să facem un pas mai departe — să-i dăm o formă cantitativă. Evaluări aproximative ale constantei de gravitaţie G pot fi făcute cunoscînd masele şi distanţele planetelor, dar nici măcar masa Pămîntului nu poate fi cunoscută cu precizie, deoarece densitatea lui nu poate fi stabilită în mod exact. De aceea trebuie să măsurăm forţa de gravitaţie ce există între corpuri care pot fi cîntărite, dar aceasta este foarte mică ; greutatea propriului nostru corp nu este mare, dar ea este perceptibilă pentru că este produsă de atracţia exercitată de o masă foarte mare — Pămîntul. Ce spe-

Scanned with CamScanner

ranţe ne poate oferi însă încercarea de a măsura în laborator forţa dintre două corpuri ?

Faptul că în prezent constanta *G poate* fi măsurată în laborator este cunoscut de orice fizician. Manualele dau o descriere completă a experienţei efectuate de Cavendish (1731—1810). Nu se dă însă atenţia cuvenită motivelor pentru care Cavendish a ales anumite dimensiuni şi, în consecinţă, merită ca atunci cînd încercăm să stabilim posibilitatea de efectuare a experienţei să procedăm ca şi cum am efectua-o *ab initio*.

Mai întîi trebuie să găsim ordinul de mărime a forţei pe care încercăm să o măsurăm. În acest scop nu avem nevoie decît de o idee aproximativă despre mărimile implicate, iar calculul este denumit un calcul al „ordinului de mărime". Asemenea calcule au jucat un rol foarte important în dezvoltarea fizicii şi toţi cei ce studiază fizica ar trebui să fie pregătiţi pentru a se folosi de ele.

Se ştie că raza Pămîntului *(R)* este de aproximativ 8 000 km (8×10^8 cm) ; din formula care exprimă volumul unei sfere (faptul că Pămîntul nu este perfect sferic poate fi neglijat într-un calcul de stabilire a ordinului de mărime) obţinem valoarea $4/3\ \pi\ R^3$, adică aproximativ 2×10^{27} centimetri cubi. Masa este produsul dintre densitate şi volum, iar noi nu cunoaştem densitatea medie a Pămîntului. Putem aprecia că este mai mare decît aceea a apei, dar este puţin probabil să fie de zece ori mai mare, deoarece puţine roci au o asemenea densitate ; să presupunem că este de 5 g pe cm^3. În acest caz, masa Pămîntului ar fi cam de $5 \times 2 \times 10^{27}$ g sau 10^{28} g.

Scanned with CamScanner

Atracţia Pămîntului asupra unui corp de masa m situat la o distanţă de 10^8 cm de centrul Pămîntului (adică la suprafaţa acestuia) este :

$$\frac{G \cdot m \cdot 10^{28}}{(8 \times 10^8)^2} = mg,$$

unde g este acceleraţia pe care un corp în cădere liberă o are în apropierea suprafeţei Pămîntului. Astfel

$$g \simeq \frac{G \times 10^{28}}{60 \times 10^{16}}.$$

Cunoscîndu-se că g este aproape egal cu 1 000 cm s^{-2},

$$G \simeq \frac{10^3 \times 60 \times 10^{16}}{10^{28}} =$$

$$= 6 \times 10^{-8} \text{ dine cm}^{-2} \cdot \text{g}^{-2}.$$

Ca rezultat privind ordinul de mărime, putem să socotim această valoare drept 10^{-7}.

Este o valoare foarte mică. Două mase de 1 g găsindu-se la 1 cm distanţă între ele s-ar atrage reciproc cu o forţă de 10^{-7} dine sau 10^{-10} gf[1] — o forţă mult prea mică pentru a putea fi măsurată. Cum am putea s-o mărim ? Putem să luăm mase mai mari, dar este limpede că şi distanţa va trebui să crească ; în plus, vor fi necesare suporturi mai puternice, reducîndu-se astfel posibilitatea unei măsurări precise a forţei. Aceste aspecte contradictorii trebuie luate în considerare atunci cînd ho-

[1] 1 gf (gram forţă) = $9{,}8066 \times 10^{-3}$ N *(N.T.)*.

Scanned with CamScanner

tărîm dacă este sau nu posibilă o experienţă satisfăcătoare.

Scopul de bază al experienţei a fost măsurarea forţei cu care un corp sferic fix atrage un corp mobil. Cu două asemenea perechi poate fi realizat un cuplu ce poate fi aplicat celui mai sensibil dispozitiv cunoscut pe atunci — balanţa de torsiune, folosită cu atîta succes de Coulomb (1736—1810) la măsurarea forţelor electrostatice şi magnetice. Putem uşura problema de construcţie făcînd în aşa fel încît corpurile fixe şi cele mobile să fie de dimensiuni diferite, deoarece li se aplică consideraţii complet diferite.

Să considerăm mai întîi corpurile mobile. Ele trebuie fixate la capetele unui braţ lung suspendat de un fir subţire ; dacă ele sînt mari, firul trebuie să fie rezistent, şi ca atare greu de torsionat ; rezultă deci că cel mai bine este ca ele să fie mici, pierderea de forţă de gravitaţie fiind mai mult decît compensată printr-un plus de sensibilitate. Într-adevăr, forţa de atracţie este proporţională cu masa, care depinde de r_1^3, unde r_1 este raza sferei. Firul de torsiune trebuie să aibă o secţiune proporţională cu r_1^3 şi deci o rază proporţională cu $r_1^{3/2}$. Sensibilitatea unui fir de torsiune variază însă cu inversul puterii a patra a razei sale şi deci cu r_1^{-6}, ceea ce compensează de departe cîştigul obţinut prin r_1^{-3}, dacă sferele ar fi mai mari. Trebuie deci să alegem cel mai subţire fir disponibil şi să confecţionăm sferele exact atît de mari încît să nu rupă firul cînd sînt suspendate.

În ceea ce priveşte sferele fixe, dacă le facem mai mari, ele se vor afla implicit la o distanţă

Scanned with CamScanner

mai mare de cele mobile. Dacă raza este r_2, masele lor vor fi proporţionale cu r_2^3, dar distanţa de cele mobile va fi aproximativ egală cu r_2 şi astfel forţa gravitaţională va fi proporţională cu $r_2^3/r_2^2 = r_2$. Aşadar este indicat ca aceste sfere să fie cît mai mari posibil.

Cît anume de mari, depinde de mijloacele ce ne stau la dispoziţie. Plumbul este un material potrivit acestui scop, dat fiind că ne trebuie un material avînd o densitate foarte mare ; este adevărat că densitatea lui nu este decît jumătate din cea a platinei, dar este mult mai ieftin. O sferă de 50 kg, pe care un om puternic o poate mînui, are un diametru de aproximativ 20 cm, este deci potrivită pentru un aparat de dimensiuni rezonabile. Dacă sferele mobile au o masă de ordinul a 100 g, forţa de gravitaţie va fi de aproximativ 10^{-2} dine — ce-i drept, extrem de mică, dar nu imposibil de măsurat.

Este probabil că tocmai asemenea considerente au dus la soluţia constructivă adoptată în experienţa lui Cavendish. Am socotit că este cazul să intru în toate aceste amănunte deoarece ele ne oferă un exemplu excelent privitor la modul în care trebuie pregătită o experienţă ştiinţifică. Prezentarea este, firește, în mod necesar incompletă ; construcţia unui suport rigid — şi totuşi uşor — pentru sferele mobile va impune probabil o mai mare limitare decît înseşi dimensiunile sferelor. Sper însă că am dat suficiente amănunte pentru a ilustra problemele de care te loveşti cînd efectuezi o experienţă pentru prima oară.

Scanned with CamScanner

Nu toată lumea ştie că de fapt nu Cavendish a fost primul care a imaginat această experienţă. Ea a fost concepută pentru prima oară de către reverendul John Mitchell, care a construit aparatul, dar a murit înainte de a-l fi putut folosi şi, pînă la urmă, aparatul a fost preluat de Cavendish. Pentru a-l perfecţiona, acesta din urmă l-a modificat în asemenea măsură încît, de fapt, a construit un aparat nou, cu care a efectuat celebra sa măsurare a mărimii *G*, măsurare descrisă în 1798 în *Philosophical Transactions of the Royal Society*.

Cavendish şi-a dat seama că cea mai grea problemă va fi aceea de a evita curenţii de aer şi de aceea şi-a aşezat aparatul într-o cameră închisă, aşa cum se poate vedea din desenul reprodus după lucrarea sa (fig. 3) ; observarea devierilor era efectuată cu ajutorul unor telescoape plasate în pereţi. Constanta de torsiune a sîrmei a fost stabilită prin metoda oscilaţiilor.

Experienţa este remarcabilă prin grija cu care a fost pusă la punct şi prin precauţiile luate în vederea evitării unor erori sistematice. Cavendish a obţinut un rezultat care dădea pentru greutatea specifică medie a Pămîntului valoarea de 5,48 — cu o eroare de 7%. Reuşita experienţei a fost de mare importanţă pentru fizică, deoarece dădea posibilitatea de a se măsura masele Soarelui şi ale planetelor — un prim pas spre înţelegerea sistemului nostru solar.

Măsurarea constantei *G* constituie punctul culminant al unui şir de realizări remarcabile. După cum am văzut, totul a provenit de la observaţii banale pe care majoritatea oamenilor nu le-ar fi luat în seamă, dar care pentru minţi strălucite ca

Scanned with CamScanner

acelea ale lui Galilei şi Newton au ridicat probleme de o însemnătate uriaşă. Generaţii de oameni de ştiinţă au fost însă induşi în eroare de o propoziţie rostită de Newton : „Eu nu fac ipoteze". Ce a vrut el să spună cu asta ?

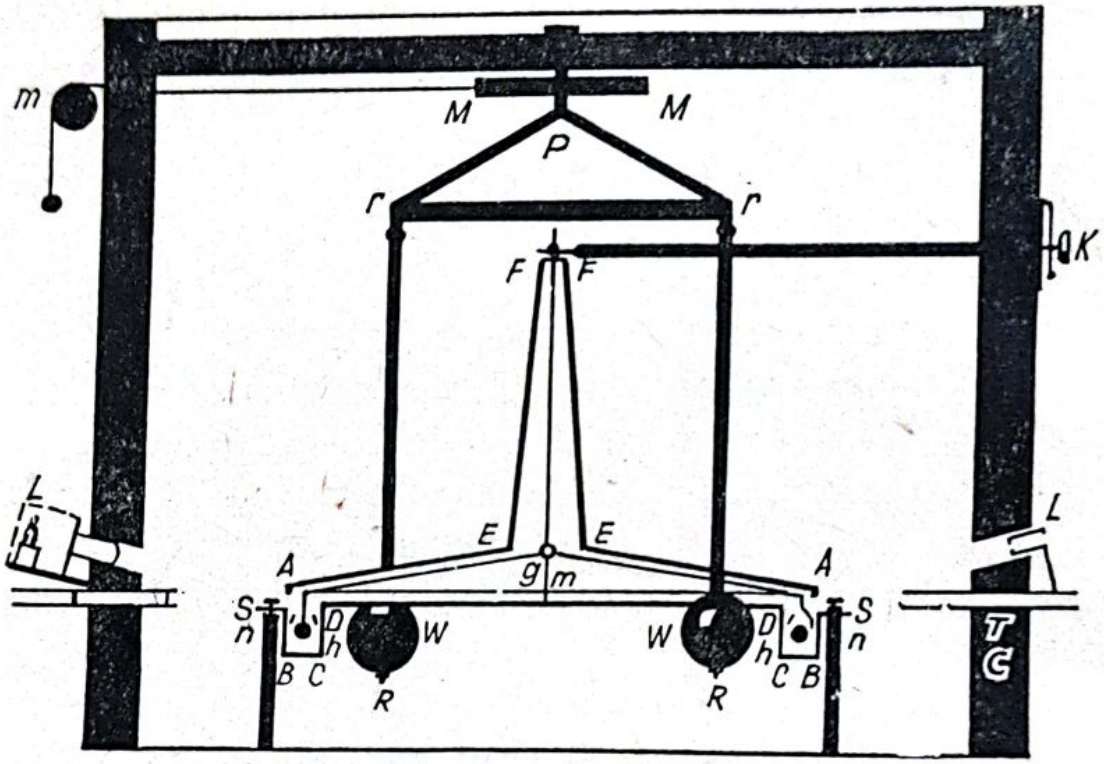


Fig. 3. **Schiţa aparatului folosit de Cavendish pentru măsurarea constantei gravitaţionale** *G*.

Pentru cei ce se îndeletnicesc cu filozofia ştiinţei această declaraţie constituie o sursă de mare bătaie de cap ; noi construim, bineînţeles, ipoteze şi le verificăm prin experienţe. Este calea progresului în fizică. Ar trebui oare ca, procedînd în felul acesta, să avem un sentiment de vinovăţie la gîndul că Newton nu ar fi fost de acord cu noi ? Să nu-l transformăm pe Newton într-un obiect de adoraţie ; ca orice om, el putea să facă cu un prilej sau altul un raţionament greşit. El a vrut

Scanned with CamScanner

probabil să sublinieze că nu face speculaţii despre natura gravitaţiei. Părerea lui că teoria gravitaţiei formulată de el este valabilă pentru întregul univers constituia o ipoteză de o anvergură cel puţin tot atît de mare ca oricare dintre ipotezele emise vreodată. Ea nu poate fi verificată în afara sistemului solar, dar nimeni nu se îndoieşte de adevărul ei. De fapt, ultimele pagini ale lucrării sale *Opticks* abundă în ipoteze, doar că acestea nu sînt numite ipoteze, ci întrebări. De pildă: „Nu sînt oare razele de lumină corpuri foarte mici, emise de substanţele strălucitoare?“ Newton se pricepea să formuleze ipoteze la fel de bine ca oricare alt om de ştiinţă.

Scanned with CamScanner

2

Atmosfera

Planeta noastră este înconjurată de un înveliş gazos de o imensă importanţă pentru noi. Acest înveliş face posibilă viaţa, deoarece aproape toate formele de materie vie depind de oxigen — unul dintre componentele de bază ale aerului. El ne apără de radiaţiile nocive ale Soarelui şi contribuie la mişcarea vaporilor de apă dintr-o regiune într-alta. Fiecare din aceste subiecte poate constitui un studiu de sine stătător, dar în capitolul de faţă ne vom ocupa numai de cele cîteva amănunte care au influenţat dezvoltarea fizicii.

Pentru fizicianul de azi studiul atmosferei pare o preocupare firească, dar pe vremea cînd fizica experimentală a început să renască unii oameni îşi băteau joc de un asemenea studiu. Exista părerea că Societatea Regală este alcătuită dintr-un grup de excentrici care credeau că nu au altceva

Scanned with CamScanner

mai bun de făcut decît „să cîntărească aerul". Se presupune că la această societate se gîndise Swift atunci cînd i-a descris pe filozofii din Laputa care încercau să obţină raze de soare din castraveţi. Cred că nu există vreo activitate umană care să nu poată fi ridiculizată prin vorbe meşteşugite! Cine crede în ceea ce face trebuie însă să aibă şi curajul de a persevera chiar atunci cînd devine obiectul zeflemelelor şi pamfletelor. Ca şi în cazul altor domenii de bază ale fizicii, studiul efectiv al atmosferei a început cu Galilei. El a acceptat ideea — deşi unii au negat acest fapt — că atmosfera este o formă a materiei şi de aici a tras concluzia că, fiind materie, trebuie să aibă o greutate. În această privinţă era de acord cu Aristotel, care — în felul său ciudat de a da un caracter cantitativ remarcabilelor sale idei — credea că densitatea atmosferei este de circa zece ori mai mică decît a apei. Galilei şi-a propus să măsoare densitatea atmosferei şi să nu se mulţumească cu simple presupuneri.

Dispunînd de o pompă de compresie rudimentară, a reuşit să demonstreze că un vas conţinînd aer comprimat cîntăreşte mai mult decît atunci cînd conţine aer la presiunea normală. Pentru a stabili densitatea aerului la presiunea normală, el a efectuat diverse experienţe, dintre care una este prezentată în cele ce urmează : două vase *A* şi *B* (fig. 4) pot fi puse în comunicare prin intermediul unui tub de piele. Vasul *A* conţine aer la o presiune ridicată, iar vasul *B* conţine apă. *B* are un robinet prin care poate trece apa. Experienţa se efectuează astfel : mai întîi este cîntărit vasul *A*, conţinînd aer comprimat. Apoi vasul este conectat

Scanned with CamScanner

cu *B* şi robinetul este deschis ; presiunea ridicată a aerului comprimat goneşte apa din *B*. Această apă este colectată şi cîntărită. După aceea, vasul *A* este cîntărit din nou.

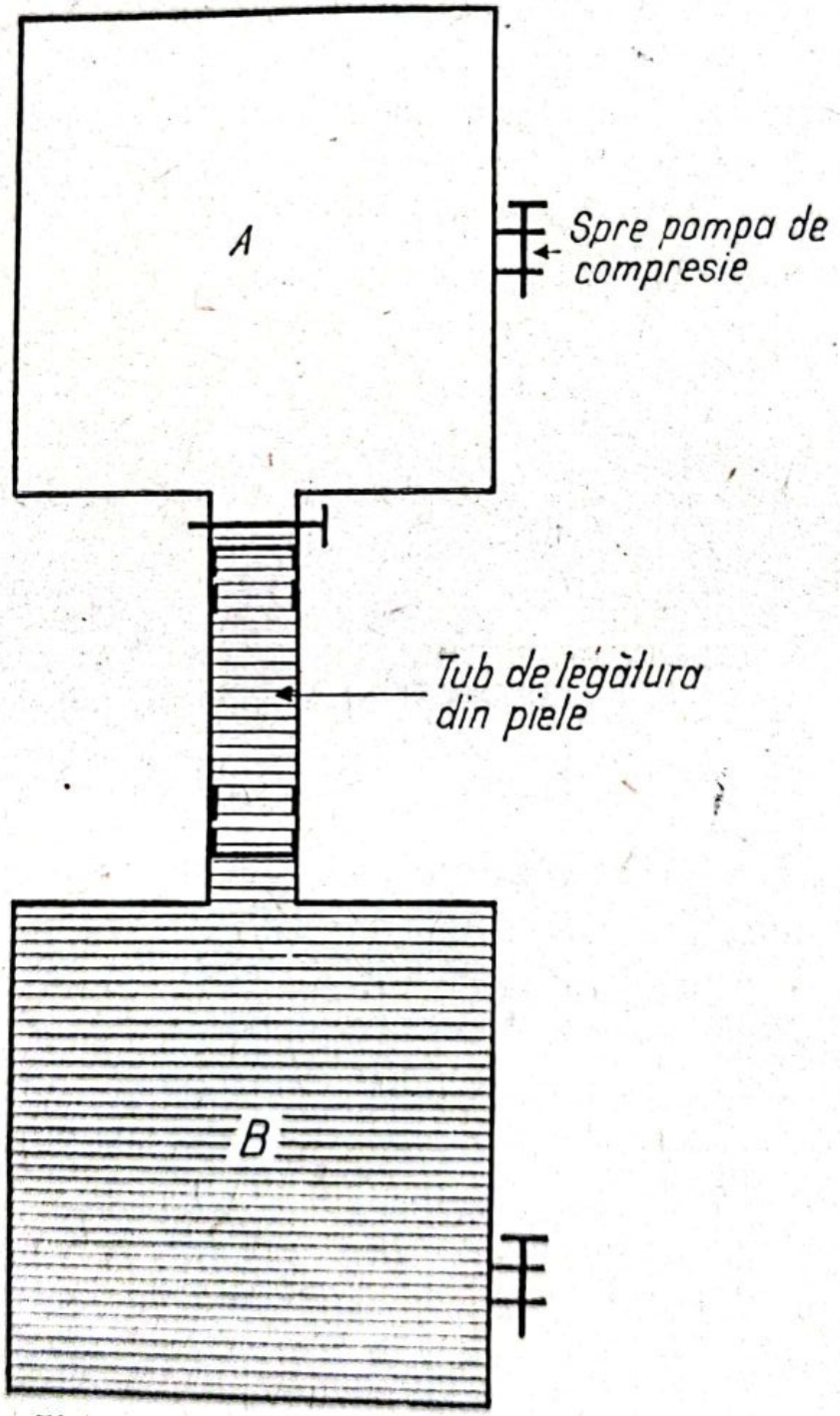


Fig. 4. Schiţă reprezentînd experienţa efectuată de Galilei pentru cîntărirea aerului.

Scanned with CamScanner

Experienţa oferă date suficiente pentru a se determina greutatea specifică a aerului. Greutatea aerului evacuat este cunoscută din cele două cîntăriri ale vasului *A*; cunoaştem greutatea apei de acelaşi volum la presiunea normală. Galilei a dedus că aerul are densitatea de 1/400 din cea a apei (rezultat corect ca ordin de mărime, rezultatul exact fiind de 1/700).

Dacă aerul are greutate, el trebuie să exercite şi o presiune. Existenţa acestei presiuni a fost demonstrată în 1654 prin ceea ce a constituit probabil una dintre cele mai impresionante experienţe de fizică efectuate vreodată pînă la acea dată — experienţa cu emisferele de Magdeburg.

Ea a fost imaginată de von Guericke (1602—1686) — un om bogat care se interesa de ştiinţă pentru propria sa plăcere. A confecţionat două emisfere metalice cu un diametru de 36 cm cu muchiile foarte bine şlefuite, aderînd perfect una la cealaltă, astfel încît formau împreună o sferă din care putea fi scos aerul. A scos aerul din sferă cu ajutorul unei pompe şi a arătat unei asistenţe selecte — din care făcea parte şi împăratul Ferdinand al III-lea — că pentru a separa cele două emisfere erau necesare două atelaje alcătuite din patru perechi de cai. Forţa de tracţiune totală necesară era de aproximativ o tonă, revenind astfel circa 120 kg de fiecare cal, adică forţa de tracţiune a unui cal de talie mijlocie.

Pompa folosită de Guericke era de un tip foarte simplu. Principiul ei constructiv este arătat în figura 5. Incinta *R* din care se scoate aerul este conectată prin intermediul robinetului *A* la cilindrul *C*, în care acţionează pistonul *P* bine şlefuit,

Scanned with CamScanner

confecţionat din lemn şi cu un înveliş de piele unsă cu grăsime. În partea de sus a cilindrului se află robinetul *B*. Pentru a evacua aerul din *R* se

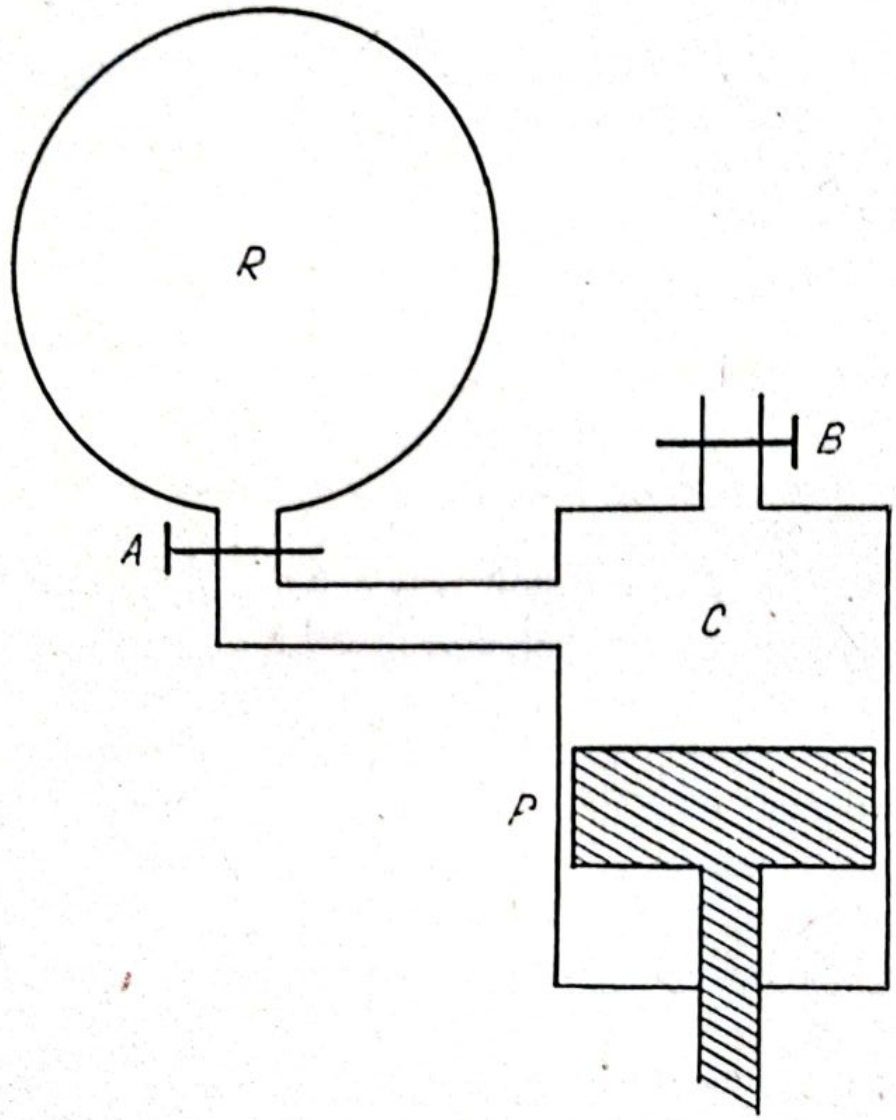


Fig. 5. Principiul funcţional al primei pompe de vid imaginată de Guericke.

închide *A*, se deschide *B*, iar *P* este împins către partea de sus a cilindrului. Apoi se închide *B*, se deschide *A* şi pistonul este coborît. Aerul din *R* este acum împărţit între *R* şi *C* şi are deci o presiune mai mică. Se închide *A* şi se deschide *B*,

Scanned with CamScanner

pistonul se ridică şi operaţia se repetă. Dat fiind că pistonul era acţionat printr-un angrenaj cu pinion, reducerea presiunii pînă la o fracţiune suficient de mică a presiunii atmosferice normale trebuie să fi fost o operaţie lentă şi obositoare.

Cam în acelaşi timp alţi oameni s-au ocupat de experienţe mai puţin spectaculoase, dar mai bogate în informaţie. Galilei cunoscuse din practică faptul ciudat că nici o pompă aspiratoare nu poate ridica apa la mai mult de aproximativ zece metri şi a presupus că fenomenul s-ar putea datora presiunii exercitate de atmosferă sau — în jargonul obişnuit al savanţilor din acea vreme — că ar fi o dovadă a faptului că „natura are oroare de vid". Discipolul său Torricelli (1608—1647) a hotărît să verifice această idee, dar şi-a dat seama că folosind un lichid mai greu, cum este mercurul, aparatura ar putea fi redusă la dimensiuni mai uşor de mînuit. Astfel, în 1643, Viviani, un alt discipol al lui Galilei, a umplut cu mercur un tub lung de un metru, l-a răsturnat peste un vas conţinînd de asemenea mercur, şi a constatat cu bucurie că coloana de mercur se menţinea în tub la distanţa de aproximativ 75 cm deasupra suprafeţei libere a mercurului din vas. A fost primul barometru. În Franţa, Pascal (1623—1662) şi-a dat seama că presiunea barometrică ar trebui să varieze cu înălţimea şi a aşezat un barometru cu mercur pe acoperişul unei biserici, dar nu a putut să observe vreo diferenţă perceptibilă. A deplasat atunci acelaşi tub la o altitudine mai mare — pe Puy-de-Dôme, în Auvergne — şi a constatat că înălţimea coloanei de mercur era cu cîţiva centimetri mai mică decît la Paris, oraş situat la nivelul mă-

Scanned with CamScanner

rii. La rîndul său, Torricelli a constatat că presiunea atmosferică variază de la zi la zi şi şi-a dat seama că înregistrarea presiunii poate avea o oarecare însemnătate. Aceasta a fost originea studiului ştiinţific al atmosferei.

Dar ce legătură au toate acestea cu fizica fundamentală ? Înregistrările presiunii barometrice sînt de mare însemnătate pentru studiul vremii, dar nu pentru fizica propriu-zisă. Legile fizice ar rămîne aceleaşi chiar dacă nu ar exista atmosferă. Ceea ce vreau să arăt este însă faptul că progresul realizat în problema presiunii atmosferice a dus la una din cele mai importante etape în dezvoltarea fizicii, şi anume la stabilirea teoriei atomice cantitative.

Mulţi oameni s-au ocupat cu strîngerea de date meteorologice şi au încercat să găsească mijloace de a prevedea şi, poate, chiar de a dirija vremea. Unul dintre aceştia, John Dalton (1766—1844), a fost deosebit de asiduu în strîngerea unor astfel de date, şi asta pînă în ultimele zile ale vieţii sale. Dar el se deosebea de ceilalţi prin aceea că, urmărind să provoace schimbări ale diverselor fenomene pe care le înregistra, se străduia *să înţeleagă* ce anume se întîmplă în atmosferă. El a observat, de pildă, influenţa pe care masele uscatului şi cele ale oceanului le au asupra distribuţiei temperaturii ; el a observat că în general presiunile înalte coincid cu o vreme stabilă, şi invers ; el considera că mişcarea vaporilor de apă trebuie să fie strîns legată de producerea acestor fenomene.

Dar ce sînt vaporii de apă ? Ideea că întreaga materie — fie ea în stare gazoasă, lichidă sau solidă — este alcătuită din atomi era acceptată de

Scanned with CamScanner

numeroşi oameni de ştiinţă din acea vreme, dar fără o fundamentare serioasă. Dalton a făcut un studiu foarte aprofundat al gazelor ; el a descoperit ceea ce este astăzi cunoscut sub denumirea de legea lui Dalton a presiunilor parţiale, şi tot el a cercetat variaţia solubilităţii gazelor în lichide în funcţie de presiune. Rezultatele obţinute de Dalton nu erau foarte precise, deoarece lucrase în mare parte cu instrumente executate meşteşugăreşte, dar ele sînt totuşi de o importanţă incontestabilă. El şi-a dat seama că rezultatele sale pot fi explicate folosindu-se noţiunea de atom, dar existenţa acestor „particule fundamentale" fusese preconizată şi de alţi fizicieni înaintea lui.

Ce anume a dus la cristalizarea acestei idei nu este bine cunoscut ; ulterior, Dalton a dat diferitor oameni explicaţii diferite. Acest lucru se întîmplă uneori în ştiinţă : o idee poate apărea într-un mod inexplicabil şi chiar cel care a emis-o pentru prima dată poate să nu-şi dea bine seama cum a luat naştere. S-ar putea ca versiunea cea mai verosimilă să fie aceea că Dalton a ajuns la această idee printr-o extindere a studiului gazelor asupra hidrocarburilor, şi în special asupra metanului. În variatele componente ale gazelor el a găsit proporţii diferite de carbon şi de hidrogen şi şi-a dat seama că aceste proprietăţi ar putea fi explicate dacă s-ar admite că fiecare gaz este alcătuit din „particule fundamentale" — moleculele — care, la rîndul lor, sînt alcătuite dintr-un număr restrîns de ceea ce numim astăzi atomi. El a putut să stabilească greutăţi relative ale acestor atomi şi, extinzîndu-şi ideea asupra altor compuşi, cum ar fi

Scanned with CamScanner

apa, bioxidul de carbon, amoniacul, el a putut include şi alţi atomi — cum ar fi oxigenul şi azotul.

Rezultatele obţinute de Dalton nu excelează prin precizie ; iar unele din formulele sale chimice, cum ar fi HO pentru apă, sînt greşite. Dar progresul realizat a fost de importanţă fundamentală. Teoria atomică a îmbrăcat, în sfîrşit, un aspect cantitativ şi a putut constitui fundamentul pentru teoriile altor cercetători.

Începînd cu Dalton, ipoteza atomică a stat la baza întregii ştiinţe. Astăzi construim conceptele noastre pe această bază şi măsurăm proprietăţile atomilor cu o precizie de neînchipuit pentru Dalton. Putem chiar să pătrundem în interiorul atomilor, să găsim părţile constitutive ale acestora şi să descoperim astfel o nebănuită complexitate. Unele din ideile lui Dalton erau greşite. Aşa, de pildă, nu toţi atomii aceluiaşi element sînt identici. Merită însă toată cinstea omul care s-a gîndit pentru întîia oară la modul în care conceptul atomistic — cu care oamenii au cochetat de-a lungul a 2 000 de ani — poate fi făcut să trăiască cu adevărat în mintea oamenilor şi să ducă la măsurători care să poată duce ştiinţa spre noi progrese.

Este interesant de menţionat că, deşi ideile lui Dalton au apărut la începutul secolului al XVIII-lea şi pînă la sfîrşitul acelui secol au fost mai mult sau mai puţin acceptate de toată lumea, au mai existat totuşi unii oameni de ştiinţă ai secolului al XX-lea care nu erau de acord cu ele. Atît Oswald în 1904, cît şi Mach în 1915 au fost de părere că deoarece aşa-numiţii atomi trebuie să

Scanned with CamScanner

aibă un diametru de circa 10^{-7} pînă la 10^{-8} cm — după cum stabilise Thomson [1] (mai tîrziu lord Kelvin, 1824—1907) — corpuri atît de mici nu pot fi observate şi deci nu pot avea o influenţă apreciabilă asupra materiei perceptibile ; existenţa atomilor este deci ipotetică şi poate fi ignorată. Cît de mult pot greşi uneori chiar şi oamenii de seamă !

[1] Raţionamentul este expus la pp. 198—199.

Scanned with CamScanner

3
Căldura

În ciuda aparentei sale simplităţi şi a caracterului evident pe care-l au efectele sale, căldura a rămas o enigmă a fizicii, în timp ce fenomene aparent mult mai complicate au putut fi lămurite. Pînă la mijlocul secolului al XIX-lea, căldura a fost considerată de mulţi drept un fel de substanţă materială, adăugată materiei propriu-zise ; încălzirea unui corp implica un adaos suplimentar din această substanţă, cunoscută sub denumirea de „caloric". În 1802 Dalton a trasat diagramele unor atomi cu atmosfere de căldură în jurul lor. Deşi ideea era încă crudă, ea a putut fi confirmată experimental ; jocul compensator al ecuaţiilor din calorimetrie se bazează pe această idee. Carnot (1796—1832), a cărui importantă comunicare *Forţa motrice a focului* continuă să fie socotită

Scanned with CamScanner

drept o lucrare de bază în fizică, credea în „caloric", deşi mai tîrziu şi-a revizuit concepţiile.

O altă mărime asociată era flogisticul, considerat a fi o substanţă pe care materia o degaja în procesul de ardere. Flogisticul, diferit de agentul caloric, putea fi măsurat, dar dificultatea consta în aceea că greutatea lui apărea uneori drept pozitivă, alteori drept negativă. Teoria flogistică era complet necorespunzătoare şi a supravieţuit numai fiindcă nimeni nu găsise încă alta mai bună. Capitolul de faţă se va ocupa de etapele experimentale care au contribuit la elaborarea teoriei moderne a căldurii.

Primul pas a fost făcut de către Rumford (1753—1814) la sfîrşitul secolului al XVIII-lea. Şi de astă dată ideea a luat naştere dintr-o observaţie foarte obişnuită, pe care mulţi oameni o făcuseră desigur înaintea lui fără să-i acorde vreo importanţă. Este vorba de căldura rezultată atunci cînd se face o gaură într-o bucată de metal. Una din îndeletnicirile lui Rumford consta în alezarea ţevilor de tun într-un atelier militar din München, cu care ocazie el a observat că operaţia era însoţită de o considerabilă creştere a temperaturii. De unde venea căldura ? Era evident că nu se adăugase „caloric".

O explicaţie putea fi aceea că aşchiile metalice ce rezultau din alezare aveau faţă de „substanţa calorică" o afinitate mai mică decît baza metalică masivă în care se făcea gaura. Astfel, cînd metalul este tăiat se degajă „substanţă calorică" şi rezultă o creştere de temperatură. Rumford s-a gîndit la o experienţă simplă. Cînd se foloseşte un burghiu neascuţit nu se produce decît o cantitate

Scanned with CamScanner

mică de aşchii metalice ; creşterea de temperatură ar trebui deci să fie mai mică. A efectuat experienţa, dar creşterea temperaturii a fost şi mai mare. Era clar că teoria „substanţei calorice“ nu era în concordanţă cu rezultatul experienţei.

Rumford şi-a amintit de teoriile mai vechi ale lui Boyle şi ale altora, potrivit cărora căldura este asociată cu vibraţii ale unor particule. El a efectuat alte experienţe care au arătat că nu există limite în producerea căldurii şi, în cele din urmă, a formulat cutezătoarea afirmaţie : „căldura este MIŞCARE“ (scris de Rumford cu litere mari).

Această afirmaţie este frecvent citată ca o dovadă a marii perspicacităţi a lui Rumford. S-ar putea să fie aşa ; formularea lui este însă şi dovada unei mari prudenţe. Ce fel de mişcare este căldura ? Cum se produce ea ? Ce se întîmplă cu mişcarea atunci cînd un corp se răceşte ? Aceste întrebări el nu şi le-a pus şi nu a dat un răspuns la ele. Dar el făcuse un mare pas înainte : căldura este o proprietate a materiei şi nu ceva ce îi este adăugat din exterior.

Davy (1778—1829) a efectuat la Londra o experienţă mai judicios dirijată. Două bucăţi de gheaţă au fost aşezate într-o incintă din care fusese scos aerul ; cu ajutorul unui mecanism de orlogerie s-a provocat o frecare între bucăţile de gheaţă. S-a produs suficientă căldură pentru ca o parte din gheaţă să se topească ; această căldură nu putea proveni din „caloricul“ conţinut în aer.

Se făcuse astfel primul pas important : căldura s-a dovedit a fi o formă de energie cinetică. Următorul pas necesar era acela de a stabili dacă există vreun raport cantitativ, dar înaintea unor

Scanned with CamScanner

asemenea investigaţii trebuiau adunate mai multe date ; trebuiau cunoscute proprietăţile termice ale materialelor şi, în special, cu cît creşte temperatura lor ca urmare a unui aport de căldură. Această proprietate este denumită căldură specifică — respectiv cantitatea de căldură necesară pentru a ridica cu o unitate temperatura unei unităţi de masă a unui anumit corp.

Este, evident, necesar să existe un acord general cu privire la ce anume se înţelege printr-o creştere a temperaturii cu o unitate şi de-a lungul anilor au fost propuse mai multe scări arbitrare. Dat fiind că nu se cunoştea natura căldurii, aceste scări nu puteau fi decît arbitrare. Important era ca scara termometrică acceptată să fie cît mai precis definită şi uşor de reprodus. Unele propuneri — cum a fost cea prezentată de Fahrenheit în jurul anului 1720, şi anume de a se accepta drept două puncte fixe un amestec frigorific şi temperatura corpului — erau inacceptabile. În 1742, Celsius a propus să fie folosite punctele de fierbere şi de îngheţare a apei, dînd primului punct denumirea de „zero", iar celui de-al doilea de „100". Această scară — inversată ! — este acceptată astăzi în lumea întreagă pentru lucrările ştiinţifice şi a fost denumită scară centigradică ; acum poartă denumirea de scară Celsius. Scara Fahrenheit a continuat totuşi să fie folosită pentru numeroase lucrări ştiinţifice, dar ea a fost redefinită, stabilindu-se punctul de îngheţare a apei la 32°, iar acela de fierbere la 212°.

Dispunînd de aceste scări termometrice, cercetătorii din diferitele părţi ale lumii au putut să compare rezultatele obţinute. Primele măsurători

Scanned with CamScanner

ale căldurii specifice au fost efectuate de Black (1728—1799) ; lucrările sale sînt anterioare celor ale lui Rumford şi Davy, dar au fost comunicate mai mult prin prelegeri, nefiind publicate în totalitatea lor decît după moartea lui Black. Davy, mai îndrăzneţ decît Rumford, a emis cu privire la natura căldurii părerea că ea ar fi „un fel deosebit de mişcare, probabil o vibraţie a corpusculilor din care sînt alcătuite corpurile". El a găsit soluţia corectă. Metodele sale au fost deosebit de simple şi erau accesibile oricui ştia cum să formuleze în mod corect întrebarea. Cît de rari sînt asemenea oameni !

Împreună cu un colaborator numit Martine, Black a introdus volume egale de apă şi mercur în vase similare, aşezate la distanţă egală de o flacără şi a urmărit ritmul de creştere a temperaturii la fiecare dintre cele două substanţe. El era convins că temperatura mercurului va creşte mai încet decît a apei, deoarece masa lui este de $13^1/_2$ ori mai mare. Ne putem lesne imagina surpriza lui cînd a constatat că temperatura mercurului creşte de două ori mai repede decît a apei. În felul acesta a descoperit faptul că, în comparaţie cu apa, mercurul are o căldură specifică mai mică — aproximativ 1/27, adică 0,037 din cea a apei. Azi ştim că valoarea corectă este de 0,033.

Există oameni care susţin că un om de ştiinţă nu trebuie să aibă idei preconcepute în privinţa rezultatului posibil al experienţei pe care o efectuează ; el trebuie să fie perfect obiectiv. O asemenea exigenţă este însă o absurditate. Un savant adevărat îşi efectuează aproape întotdeauna experienţa cu scopul de a verifica anumite ipoteze ; el

Scanned with CamScanner

este încîntat cînd găseşte ceea ce sperase şi dezamăgit atunci cînd rezultatul nu corespunde aşteptărilor sale ; într-adevăr, dacă nu urmăreşte un anumit lucru, el nu va fi complet conştient de semnificaţia rezultatelor obţinute. Orice activitate ştiinţifică serioasă este la început subiectivă ; obiectivitatea intră în joc abia în etapa finală, în sensul că rezultatele trebuie prezentate în aşa fel încît să poată fi înţelese şi verificate de orice alt cercetător.

Trebuie menţionat că pentru a face măsurători ale căldurii specifice nu este necesar să cunoaştem natura căldurii. Este suficient să fie definită unitatea de căldură. Actuala unitate — caloria — a fost o consecinţă atît de logică a introducerii scării Celsius, încît introducerea ei nu reprezintă un moment important în istoria ştiinţei. Măsurarea căldurii este însă extrem de importantă, atît din punct de vedere ştiinţific cît şi tehnologic, dar după lucrările lui Joule — care vor fi expuse mai jos — este îndoielnic dacă noţiunea de calorie va mai dăinui mult timp ca unitate ştiinţifică.

Experienţa efectuată de Black şi Martine a constituit un puternic imbold pentru numeroşi alţi cercetători, care au elaborat metode mai precise şi au folosit mult mai multe substanţe. În 1819, doi francezi — Petit (1791—1820) şi Dulong (1785—1838) — strînseseră suficiente date pentru a trage o concluzie de ordin general : căldurile specifice ale elementelor nu sînt arbitrare, ci se află într-o corelaţie destul de simplă cu greutăţile lor atomice.

Există oameni care socotesc drept o activitate minoră simpla acumulare a rezultatelor — ceea ce Rutherford avea să califice mai tîrziu drept

Scanned with CamScanner

„colecţionare de mărci". Această activitate s-ar potrivi spiritelor neinventive, dar care îşi pot însuşi diverse procedee tehnice şi au răbdarea necesară pentru a efectua cu grijă diverse experienţe. Se prea poate ca ea să fie într-o anumită privinţă o activitate „de ordin secundar", dar ea joacă totuşi un rol de seamă în dezvoltarea ştiinţei. Acesta a fost, de pildă, cazul acotivităţii depuse de Petit şi Dulong, care şi-au propus să măsoare căldurile specifice ale cît mai multor elemente solide.

Metoda folosită de ei implica măsurarea vitezelor de răcire. Dacă anumite cantităţi de materiale sînt aşezate în containere similare şi apoi încălzite, viteza cu care pierd căldura nu ar trebui să depindă decît de diferenţa de temperatură faţă de temperatura mediului înconjurător ; de aceea, prin compararea vitezelor cu care variază temperatura se pot compara căldurile specifice. Trebuie menţionat că această metodă nu necesită folosirea legii lui Newton cu privire la răcire — una din corelaţiile mai puţin importante stabilite de el — atîta vreme cît se compară vitezele de modificare a temperaturii a două corpuri avînd aceeaşi temperatură.

Rezultatele experienţelor efeotuate de Petit şi Dulong au vădit o tendinţă constantă : cu cît elementul este mai greu, cu atît căldura sa specifică este mai mică. Între timp concepţia atomistică s-a impus şi au fost elaborate metode mult mai precise de măsurare a greutăţilor atomice decît cele imaginate de Dalton. Dat fiind că densitatea este în anumite limite proporţională cu numărul atomic, Dulong şi Petit au încercat să înmulţească căldura specifică cu greutatea atomică

Scanned with CamScanner

şi au găsit o remarcabilă constanţă a produsului, aşa cum se arată mai jos. Greutăţile atomice sînt date luîndu-se drept unitate greutatea atomică a oxigenului ; dacă luăm pentru oxigen valoarea 16, conform convenţiei moderne, găsim pentru produsul înmulţirii, cunoscut sub denumirea de „căldură atomică", binecunoscuta valoare 6,0.

Înainte de a examina importanţa acestui rezultat, să privim în mod critic cifrele din tabelul de mai jos :

Elementul	Căldura specifică	Greutatea atomică relativă	Produsul lor
Bismut	0,0288	13,30	0,3830
Plumb	0,0293	12,95	0,3794
Aur	0,0298	12,43	0,3704
Platină	0,0314	11,16	0,3740
Staniu	0,0514	7,35	0,3779
Argint	0,0557	6,75	0,3759
Zinc	0,0927	4,03	0,3736
Telur	0,0912	4,03	0,3675
Cupru	0,0949	3,957	0,3755
Nichel	0,1035	3,69	0,3819
Fier	0,1100	3,392	0,3731
Cobalt	0,1498	2,46	0,3685
Sulf	0,1880	2,011	0,3780

Greutăţile atomice sînt calculate luîndu-se ca unitate aceea a oxigenului.

Căldurile specifice ale majorităţii elementelor sînt în destul de bună concordanţă cu valorile actuale, cu excepţia telurului şi a cobaltului. Ma-

Scanned with CamScanner

joritatea greutăţilor atomice sînt de asemenea corecte, dar şi de astă dată cele ale telurului şi cobaltului sînt greşite. Ce s-a întîmplat ?

Nu putem decît să presupunem că Dulong şi Petit nu au avut la dispoziţie materialele pe care credeau că le au. Ei şi-au desfăşurat activitatea într-o vreme cînd teoria atomică era încă la începuturile ei — avea mai puţin de 20 de ani — şi cînd nu era încă bine stabilit care substanţe erau efectiv elemente. Telurul fusese descoperit în 1782, iar seleniul — foarte apropiat de el din punct de vedere chimic — în 1817, cu numai doi ani înainte de anul cînd Dulong şi Petit şi-au efectuat cercetările. Să fi lucrat ei oare cu seleniu în loc de telur ? În această ipoteză rezultatele ar fi uşor explicabile. Cazul cobaltului este mai greu de lămurit. Greutatea atomică a acestui material este de circa 40 şi este greu de înţeles cu ce element metalic de o greutate atomică similară a putut fi confundat cobaltul. Această chestiune rămîne un mister.

Rezultatul obţinut de Dulong şi Petit a fost verificat prin metode calorimetrice moderne mai perfecţionate şi el s-a dovedit corect pentru majoritatea elementelor. Se pune întrebarea : cum poate fi interpretată constanţa produselor din tabel ? Numeroase manuale elementare o prezintă doar în treacăt, ca pe un fapt curios, care-i ajută pe chimişti să stabilească greutăţile atomice. Acest fapt este însă mult mai mult decît o simplă curiozitate, el reprezintă prima generalizare în fizica corpului solid şi, totodată, exemplul unui principiu de deosebită importanţă în fizică. Îl vom discuta mai tîrziu, după ce vom fi vorbit despre experienţa lui

Scanned with CamScanner

Joule privind raportul cantitativ dintre căldură şi energie.

Trebuie să descriem acum cealaltă descoperire de seamă făcută de Black — căldura latentă. El a ajuns la această noţiune prin observarea unui fenomen foarte obişnuit, cunoscut din timpuri străvechi — topirea zăpezii la sfîrşitul iernii. Black şi-a dat seama de extrema importanţă practică a acestui fenomen, căci dacă zăpezile s-ar topi în momentul cînd temperatura aerului ajunge la punctul de topire a gheţii s-ar produce nişte inundaţii şi calamităţi îngrozitoare. El a ajuns la concluzia că este nevoie de căldură pentru ca zăpada să se topească, dar că aceasta se întîmplă fără ca temperatura zăpezii să se schimbe ; această căldură a denumit-o „căldură latentă". Black şi-a verificat experimental ideea expunînd mase egale de apă şi gheaţă aceleiaşi surse de căldură şi a constatat că în timp ce temperatura apei a crescut în mod constant, aceea a gheţei nu s-a modificat pînă cînd gheaţa nu s-a topit în întregime. A făcut măsurători privind căldura latentă de topire a gheţii şi de fierbere a apei, găsind că pentru a fierbe o masă dată de apă este necesară o căldură de patru ori mai mare decît aceea necesară pentru a ridica temperatura de la punctul de îngheţare la punctul de fierbere. În prezent ştim că chiar această cifră mare este subevaluată.

Cu noţiunile de căldură specifică şi căldură latentă putem să transformăm acum măsurarea căldurii — calorimetria — într-o operaţie cantitativă şi astfel să încercăm a lega ideile lui Rumford şi ale lui Davy de mecanica lui Newton. Această idee ne pare astăzi evidentă, dar ea nu era

Scanned with CamScanner

deloc evidentă la începutul secolului al XIX-lea. În 1842 Mayer a presupus, bazîndu-se pe considerente pur teoretice, că ar trebui să existe o echivalenţă directă între căldură şi energie mecanică, dar cel ce a stabilit acest lucru fără putinţă de îndoială a fost Joule (1818—1889) din Manchester. Prima lucrare cu privire la această problemă a publicat-o în 1843.

Iniţial, interesul lui Joule a fost stîrnit de experienţele efectuate de el cu maşinile electrice recent inventate. Om cu mult simţ practic, Joule era preocupat de ideea unei surse permanente de energie. A construit o celulă voltaică şi a folosit-o pentru acţionarea unui motor electric destul de primitiv, confecţionat de dînsul. Motorul a funcţionat, dar experimentatorul a constatat că nu obţinuse nimic pe gratis ; zincul din baterie s-a corodat repede şi costul înlocuirii lui era destul de ridicat. (Mai tîrziu Joule a demonstrat — pentru propria sa satisfacţie — că suma necesară pentru hrănirea unui cal trebuie să fie întotdeauna mai mică decît costul zincului pentru baterii şi deci că niciodată calul nu va fi înlocuit printr-un motor electric.) Rezultatul experienţei sale l-a făcut să reflecteze asupra relaţiei dintre căldură şi diversele tipuri de energie şi să cerceteze dacă există o riguroasă echivalenţă între ele.

Joule şi-a consacrat cea mai mare parte din viaţă acestei idei : la început pentru a cerceta dacă echivalenţa există, iar apoi pentru a măsura cît mai exact posibil constanta de proporţionalitate (echivalentul mecanic al căldurii). El a izbutit să stabilească o valoare aproximativă a acestei constante folosindu-se de experienţele lui Rumford, care

Scanned with CamScanner

stabilise cu cît creşte temperatura într-o cantitate dată de materie atunci cînd un burghiu neascuţit este pus să găurească o masă de metal, mişcarea de rotaţie fiind întreţinută cu ajutorul unei perechi de cai. Deoarece Rumford nu luase în considerare pierderile de căldură, valoarea obţinută trebuia să fie evident exagerată, lucru ce nu avea însă nici o importanţă. Efectul este în acest caz foarte mare, aşa încît nu implică necesitatea unei măsurări minuţioase. Dar precizia în măsurarea temperaturii şi eliminarea erorilor sistematice sînt în general de mare importanţă. Cea mai cunoscută experienţă efectuată de Joule este aceea a agitatorului cu apă, cunoscută sub denumirea de experienţa „roţii cu zbaturi".

Ea este ilustrată în figura 6.

Cilindrul poate fi rotit prin cuplul a două greutăţi ; cilindrul este legat prin intermediul unei tije de lemn (pentru a evita pierderi de căldură prin conducţie) cu o serie de palete mobile. Acestea agită apa dintr-un calorimetru prevăzut cu un şir de palete fixe astfel aşezate încît cele mobile să se poată roti între cele fixe. Greutăţile cad pe o anumită distanţă şi pierderea de energie potenţială poate fi calculată ; trebuie luată în considerare energia cinetică a greutăţilor cînd ajung la sfîrşitul căderii. Se notează creşterea de temperatură a apei din calorimetru, care este coreotată cu răcirea ce se produce în timpul experienţei.

Deoarece creşterea era mică, Joule a modificat aparatul în aşa fel încît cilindrul să poată fi deconectat, greutăţile să poată fi ridicate din nou, ciclul fiind apoi repetat. După 10—20 de coborîri — care durau circa o oră — s-a obţinut o

Scanned with CamScanner

creştere de numai 1° F, dar termometria lui Joule era suficient de precisă pentru ca rezultatul obţinut să corespundă — cu o eroare de 0,5% — cu valoarea considerată astăzi drept corectă :

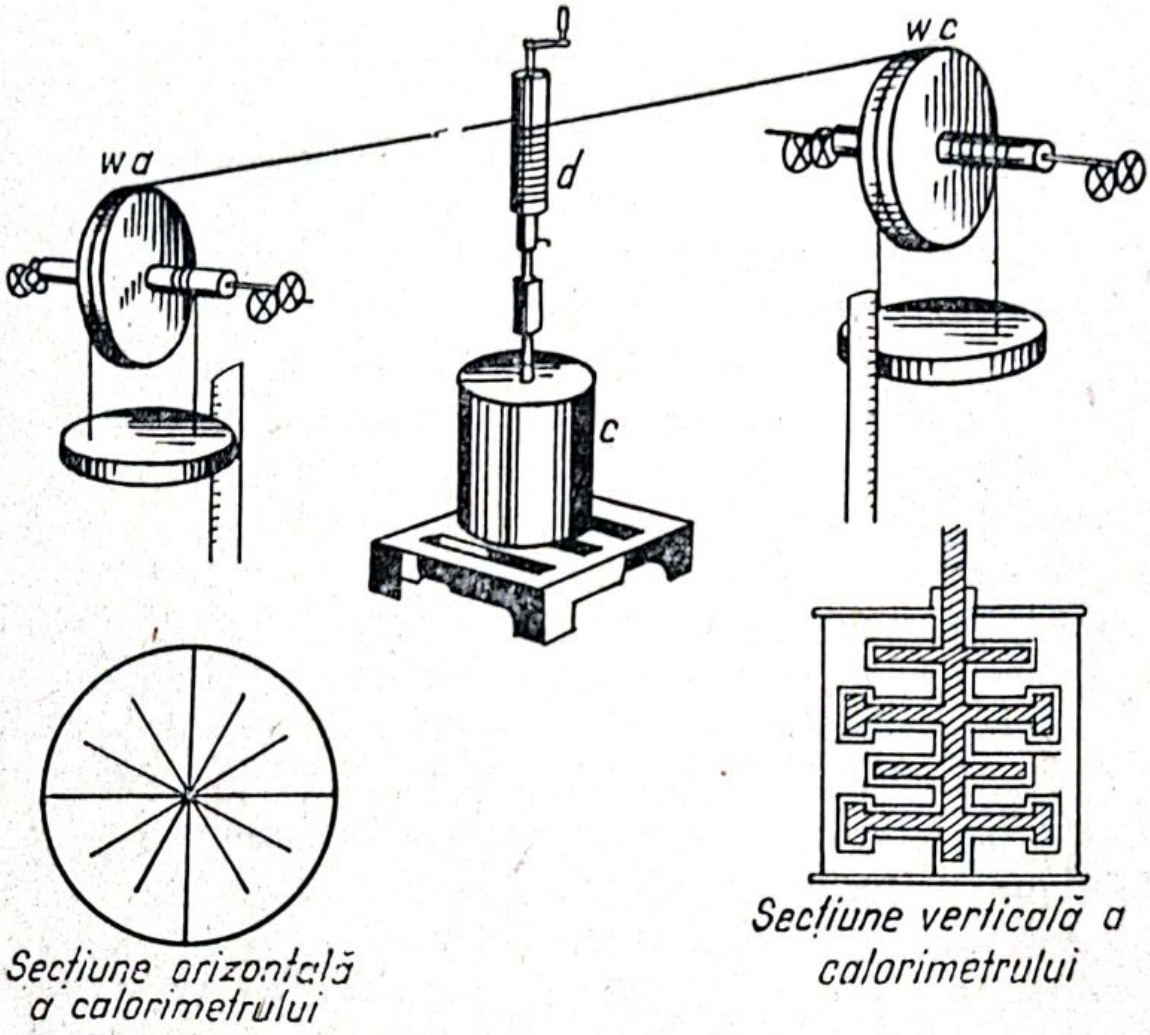


Fig. 6. Aparatul lui Joule cu palete rotitoare pentru determinarea echivalentului mecanic al căldurii.

$4{,}18 \times 10^7$ ergi pe calorie. Celelalte metode folosite de el s-au dovedit de asemenea corecte în limite acceptabile. El şi-a demonstrat punctul de vedere cu o rară fermitate. Este aşadar drept ca unitatea de energie — joulul — să poarte numele lui.

Acum putem înţelege mai bine importanţa rezultatului obţinut de Petit şi Dulong : la o tem-

Scanned with CamScanner

peratură dată, orice atom posedă în medie aceeaşi cantitate de energie. Avem aici de-a face cu un caz particular al uneia din cele mai importante generalizări din domeniul fizicii — echipartiţia energiei, enunţată pentru prima oară de Boltzmann (1844—1906) : dacă un sistem are cîteva grade de libertate, atunci energia lui se repartizează, în medie, în mod egal între ele. Prin grad de libertate înţelegem unul din modurile în care un sistem poate folosi energia mecanică. Aşa, de pildă, dacă greutatea unui pendul este atîrnată de un resort lung, ea are cîteva grade de libertate : poate oscila lateral sau înainte şi înapoi (combinaţiile acestor mişcări nu constituie noi grade de libertate) ; ea se poate mişca în sus şi în jos, extinzînd sau comprimînd resortul ; sau resortul se poate răsuci producîndu-se oscilaţii unghiulare. Principiul enunţat de Boltzmann afirmă că în medie — după un timp îndelungat în comparaţie cu perioadele de oscilaţie — tuturor tipurilor de oscilaţie le vor reveni cantităţi egale de energie.

Dulong şi Petit erau încîntaţi de rezultatele obţinute şi se aşteptau ca experienţe de o mai mare precizie să demonstreze că produsul înmulţirilor — căldura atomică — este *riguros* constant. Ei ar fi fost însă dezamăgiţi dacă ar fi inclus printre elementele măsurate şi asemenea elemente ca, de pildă, carbonul, a cărui căldură atomică este mult mai mică. Această neconcordanţă şi, firește, şi altele de mai mică importanţă pot fi acum explicate (vezi p. 255). Legea lui Boltzmann este valabilă numai în cazul în care energia variază continuu. Oricît de mică ar fi cantitatea de energie, legea

Scanned with CamScanner

cere ca ea să poată fi împărţită între mai multe grade de libertate. Dar dacă, dintr-un motiv oarecare, energia este distribuită în pachete, adică în mod discontinuu (se ştie că nici substanţa nu este continuă, ci este alcătuită din atomi), legea lui Boltzmann nu se mai aplică întru totul. Neconcordanţele constatate de o generaţie generează descoperirile generaţiei următoare.

Lucrările lui Black, Joule, Dulong şi Petit ne-au convins că de fapt căldura este o formă a energiei cinetice. Atomii sînt în continuă mişcare. Există oare vreo posibilitate de a vedea această mişcare? Atomii, aşa cum vom vedea la p. 198, sînt extrem de mici — mult prea mici pentru a putea fi văzuţi la microscop. Să introducem însă într-un lichid, sub formă de suspensie, cîteva particule vizibile. Apoi vom încerca să observăm dacă li se comunică o energie suficientă pentru ca mişcarea termică să devină vizibilă. Principiul echipartiţiei energiei va asigura ca aceste particule să primească partea cuvenită de energie. Dacă sînt suficient de mici, mişcarea lor va putea fi, poate, văzută la un microscop foarte puternic.

Pentru a stabili dacă experienţa este posibilă, trebuie să recurgem la un număr destul de mare de presupuneri. Să presupunem că particulele noastre au dimensiuni liniare de peste o mie de ori mai mari decît un atom sau o moleculă, aşa încît masa lor va fi de 10^{10} ori mai mare. Care este energia care trebuie repartizată? Nu putem face decît o apreciere aproximativă, deoarece nu cunoaştem masele atomilor şi nici de la ce nivel anume să efectuăm măsurătoarea. Dar pentru o diferenţă de temperatură de 100°C, energia cinetică a 1 g de sub-

Scanned with CamScanner

stanţă cu densitate unitară este de ordinul a $10^2 \times 4 \times 10^7$ ergi, ceea ce poate fi socotit egal cu 10^{10} ergi. Aprecierea lui Kelvin privind mărimea unui atom (p. 198) ne face să considerăm că într-un gram ar fi circa 10^{24} atomi şi astfel fiecare atom ar avea o energie de aproximativ 10^{-14} ergi.

Această cantitate este foarte mică, dar şi particulele cărora le corespunde sînt mici. Ce viteză vor trebui să aibă particulele pentru a poseda această energie ? Din lucrările lui Galilei am văzut că dacă o forţă este aplicată unui corp în aşa fel încît acesta să se deplaseze pe o anumită distanţă din poziţia de repaus, timpul consumat este proporţional cu rădăcina pătrată a distanţei şi se poate demonstra că şi viteza atinsă este proporţională cu această rădăcină pătrată. Dacă definim lucrul mecanic drept produsul dintre forţă şi distanţa pe care ea acţionează, iar energia drept acea proprietate a corpului ce rezultă din posibilitatea de a efectua lucrul, atunci energia trebuie să fie proporţională cu pătratul vitezei. De fapt se poate arăta că energia unui corp de masă m deplasîndu-se cu viteza v este de $^1/_2\, mv^2$.

Aşadar, dacă masele particulelor în suspensie sînt de aproximativ 10^{10} mai mari decît cea a unui atom — să zicem 10^{-14} g —, viteza fiecărei particule va fi dată aproximativ de expresia

$$\sqrt{\frac{2 \times 10^{-14}\ \text{erg}}{10^{-14}\ \text{g}}},$$

ceea ce înseamnă ceva peste 1 cm s^{-1}. Această viteză poate fi, bineînţeles, observată.

Scanned with CamScanner

Un raţionament similar l-a determinat în 1905 pe Einstein (1879—1955) să sugereze că efectul ar trebui căutat. Ceea ce nu ştia era faptul că acest efect fusese deja descoperit şi explicat. Un botanist, pe nume Brown (1773—1858), observase în 1827 o mişcare neregulată a particulelor de polen aflate în suspensie în apă. Particulele acestea erau mult mai mari decît cele despre care s-a vorbit în alineatul precedent ; aveau circa 5×10^{-4} cm în lungime şi ceva mai puţin în lăţime. Este surprinzător că a putut observa aceste detalii, deoarece el nu a folosit decît o singură lentilă cu distanţa focală de 1/32 inch[1]. La început a crezut că mişcarea s-ar datora unor organisme vii, dar a constatat că ea exista şi în cazul polenului uscat, iar mai tîrziu, şi în cazul unor materiale anorganice, inclusiv în cazul unor particule mărunte provenite din sfărîmături ale Sfinxului ! Acest efect este cunoscut sub denumirea de mişcare browniană şi a fost explicat în 1876 de către Ramsay (1852—1916) în modul descris mai sus.

Am parcurs un drum lung de pe vremea caloricului şi a flogisticului. Căldura este o manifestare a energiei şi problemele de căldură pot fi reduse la probleme de mecanică. Singura dificultate constă în faptul că sistemele cu care avem de-a face conţin atît de multe corpuri încît studii amănunţite nu sînt posibile ; chiar teoria a trei corpuri s-a dovedit pînă acum de nerezolvat. Dar atunci cînd este vorba de un mare număr de particule pot fi folo-

[1] 1 inch = 2,54 cm (*N.T.*).

Scanned with CamScanner

site metode statistice şi rezultatele obţinute au o semnificaţie bine determinată. Termodinamica statistică depăşeşte cadrul unei cărţi care se ocupă de metodele experimentale ; este însă important de ştiut cum s-a dezvoltat această ramură a fizicii, pornind de la observaţii foarte simple făcute de experimentatori înzestraţi cu o imaginaţie bogată.

Scanned with CamScanner

4
Gazele

Ne-am ocupat în capitolele precedente de proprietăţile unui anumit amestec de gaze — atmosfera — şi de evoluţia înţelegerii treptate a adevăratei naturi a căldurii. În capitolul de faţă aceste două subiecte sînt considerate laolaltă pentru a se putea ajunge la prima generalizare de mare importanţă realizată în fizică — legile gazelor.

Legile gazelor pot fi exprimate atît de simplu printr-o singură ecuaţie, încît remarcabilele lor implicaţii sînt adesea trecute cu vederea. S-ar putea crede că orice generalizare simplă trebuie să fie şi banală. Această părere este însă greşită. Unul din ţelurile fizicii este de a găsi generalizări care să fie expresii ale unor proprietăţi comune ale naturii ; generalizările lărgesc înţelegerea noastră şi constituie baza pentru noi progrese. Legile gazelor au contribuit la înţelegerea adevăratei naturi a stării ga-

Scanned with CamScanner

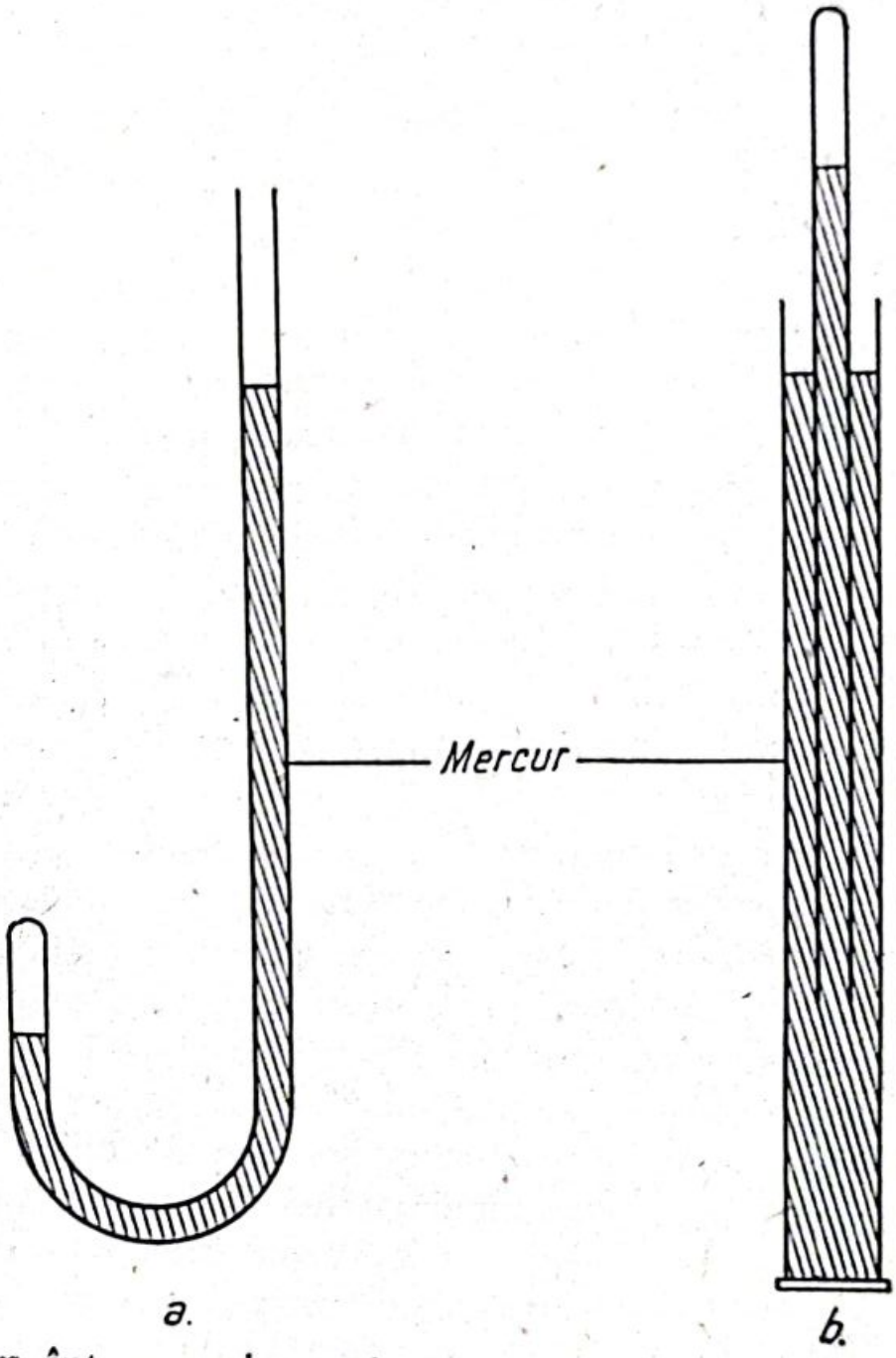
zoase şi la definirea temperaturii pe o temelie riguroasă. Totodată ele au dus la o mai bună înţelegere a stării solide şi a celei lichide — ambele mult mai complicate decît cea gazoasă.

Prima lege a gazelor a fost cea publicată în 1660 de către Boyle (1627—1691) în lucrarea *New Experiments Touching the Spring of the Air* (Noi experienţe cu privire la elasticitatea aerului). Boyle a fost unul dintre membrii fondatori ai Societăţii Regale şi un strălucit experimentator : se spune că el se temea de moarte numai fiindcă ar intra într-o altă viaţă în care totul ar fi cunoscut — şi deci n-ar mai fi nevoie de experienţe. Lucrările lui Torricelli şi von Guericke au stîrnit interesul lui Boyle, care a îmbunătăţit în mod substanţial pompa de vid a celui din urmă. El a fost de părere că pentru a înţelege modul de funcţionare a acestei pompe trebuie cunoscut cum variază volumul unei cantităţi date de aer în funcţie de variaţia presiunii, şi a imaginat o aparatură destul de simplă pentru efectuarea măsurătorilor necesare. În esenţă, experienţa sa se compunea din două părţi distincte, una corespunzînd creşterii presiunii peste cea atmosferică, iar cealaltă descreşterii sub acest nivel.

Prima parte era extrem de simplă. Folosea un tub foarte lung de stiolă avînd forma arătată în figura 7 *a*. În acest tub a turnat mercur, izolînd în felul acesta în braţul scurt un mic volum de aer (lungimea spaţiului ocupat de aer era considerată drept măsură a volumului). Iniţial, nivelul mercurului era acelaşi în cele două braţe. Apoi Boyle a turnat mercur în braţul lung pînă ce volumul de aer s-a redus la jumătate, şi a fost încîntat să constate că diferenţa dintre cele două nivele de

Scanned with CamScanner

mercur era aproximativ egală cu presiunea barometrică, ceea ce părea să indice existenţa unui raport



invers între presiune şi volum. Ca atare, a repetat experienţa în mod mai amănunţit şi în etape de

Fig. 7. Principiul aparaturii folosite de Boyle pentru a stabili rapotul dintre presiune şi volum la o masă de aer dată: (*a*) pentru presiuni mai mari decît cea atmosferică; (*b*) pentru presiuni mai mici decît cea atmosferică.

Scanned with CamScanner

mai mare precizie ; măsurătorile sale au confirmat întru totul acest raport.

El şi-a dat seama că trebuie să se ocupe şi de presiuni inferioare celei atmosferice. Pentru astfel de presiuni a devenit necesar un aparat mai complicat. Boyle a luat un tub de circa 2 m şi l-a introdus într-altul mai larg, umplut cu mercur (fig. 7 *b*). Prin încălzirea şi răcirea tubului inferior a tras în acesta mercur, lăsînd în final un mic volum de aer în partea superioară a tubului. El a ridicat apoi treptat tubul interior, astfel încît presiunea din interiorul lui scădea şi a măsurat din nou presiunea şi volumul, în acelaşi mod ca mai înainte. Pe această cale a putut obţine o gamă largă de presiuni.

Figura 8 *a* reprezintă graficul variaţiei inversului volumului în funcţie de presiune. Rezultatul este o frumoasă linie dreaptă ce trece prin punctul zero. Dar ce se întîmplă dacă reprezentăm volumul în funcţie de inversul presiunii ? Figura 8 *b* arată că acum punctele din vecinătatea punctului zero din figura 8 *a* (sînt prea numeroase pentru a fi însemnate toate în grafic) prezintă deviaţii considerabile de la relaţia liniară. Aceste deviaţii nu sînt uşor de explicat. Ele nu sînt provocate de erori în măsurarea volumelor, erori care ar fi trebuit să fie mai mari pentru valorile mici ; o eroare de 1/4 inch pentru presiunea atmosferică ar fi fost mai plauzibilă, dar ea nu e probabilă. Putem constata că, de fapt, rezultatele lui Boyle pentru presiunile mici nu sînt prea bune : de exemplu, 119/128 inch, una din valorile presiunii conform ipotezei lui Boyle, nu corespunde cu 1 2/8 inch, presiunea reală măsurată în cazul respectiv. Toate rezultatele privind presiunile

Scanned with CamScanner

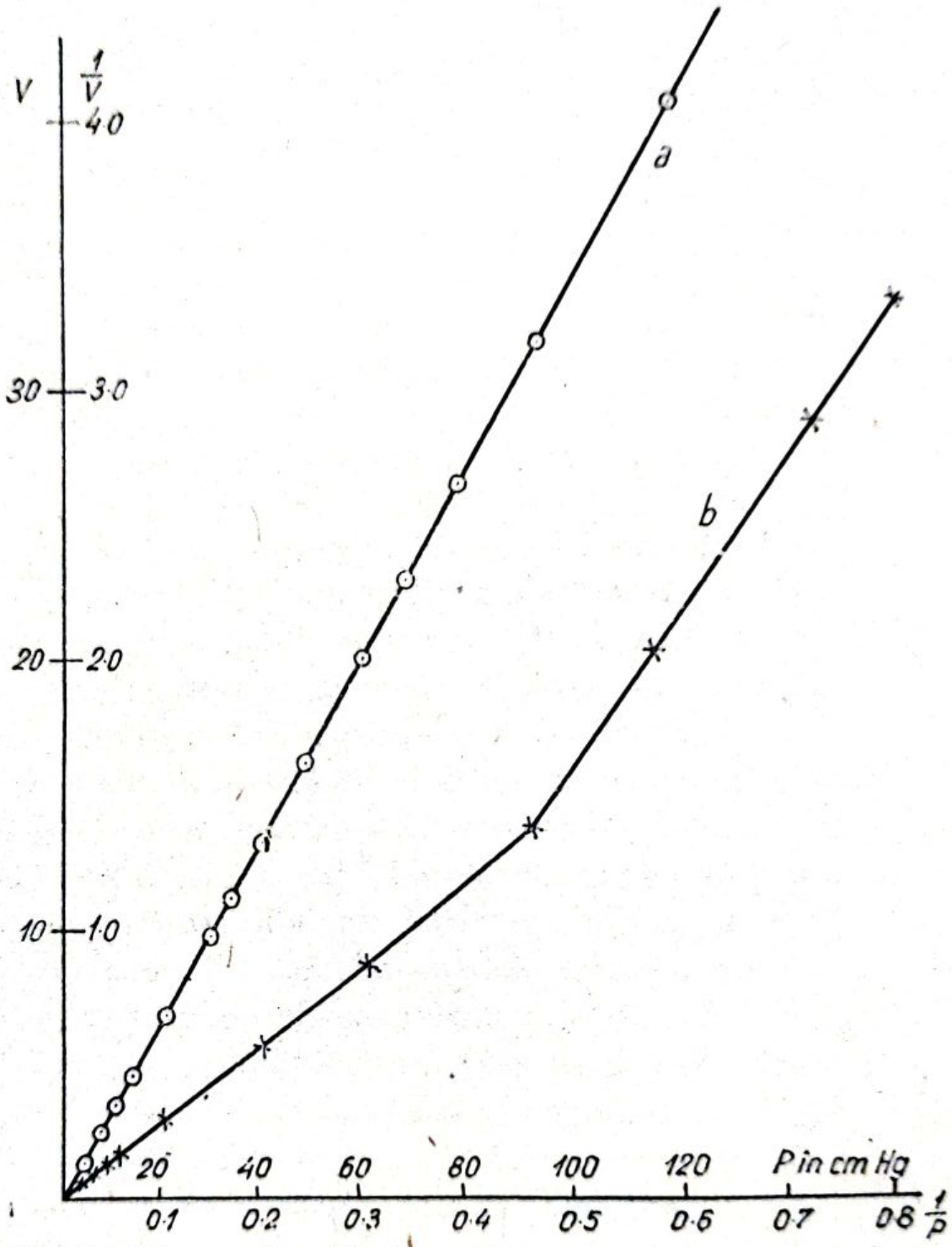


Fig. 8. Diagramă arătînd, conform rezultatelor obținute de Boyle: (*a*) $1/V$ în funcție de P; și (*b*) V în funcție de $1/P$.

Scanned with CamScanner

joase conţin o eroare de natură sistematică, lucru care însă nu reiese în mod clar din fracţiile ordinare folosite de Boyle.

Legea lui Boyle a fost redescoperită în 1676 de către Mariotte (1620—1684) şi în Franţa ea continuă să fie cunoscută ca legea lui Mariotte. Prioritatea lui Boyle pare neîndoielnică, dar Mariotte şi-a dat mai bine seama de importanţa fundamentală a rezultatului obţinut ; Boyle considera că acest rezultat nu reprezintă decît o altă proprietate interesantă a aerului, care se adaugă tuturor celorlalte proprietăţi.

Pasul următor era, evident, de a se măsura dilatarea aerului prin încălzire, dar a trebuit să se aştepte mai întîi stabilirea corectă a unei scări termometrice. Ca de obicei, fizica nu a putut însă aştepta apariţia unei scări perfecte ; ea a trebuit să recurgă la o scară aproximativă — dilatarea mercurului într-un tub de sticlă. Ştim că alegerea a fost bine inspirată, mai bine decît dacă lichidul folosit ar fi fost apa.

Dalton pare a fi fost primul care — în 1801 — a efectuat măsurători satisfăcătoare, experienţele majorităţii celorlalţi fizicieni fiind falsificate de prezenţa vaporilor de apă. El a folosit diverse gaze — oxigen, azot, hidrogen şi bioxid de carbon — pe care le-a uscat cu multă grijă înainte de a le închide cu ajutorul unei picături de mercur în tuburi gradate, închise şi ele. Tuburile au fost încălzite prin intermediul unei mantale de apă şi, spre surprinderea sa, a constatat că toate gazele se comportă în mod asemănător. El şi-a formulat rezultatele într-un mod extrem de prudent : „În general, nu văd, deci, vreo raţiune suficientă pentru a ne îm-

Scanned with CamScanner

piedica să considerăm că la presiuni identice toate fluidele elastice se dilată prin încălzire în mod egal". El era totuşi de părere că dilatarea descreşte odată cu creşterea temperaturii. Nu este deci de mirare că nimeni, nici măcar Dalton, nu a înţeles întreaga semnificaţie a rezultatului.

Gay-Lussac (1778—1850) a enunţat aceeaşi concluzie în mod mai clar, dîndu-i şi un suport canti-

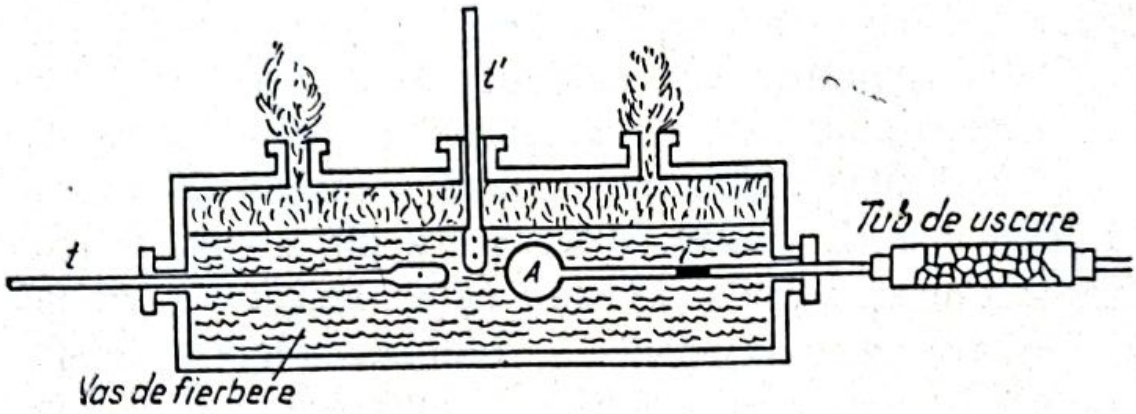


Fig. 9. Aparatura folosită de Gay-Lussac pentru determinarea dilatării gazelor la presiune constantă.

tativ. Aparatura folosită de el este arătată în figura 9.

Gazul, uscat cu grijă, se găseşte în balonul *A*, limitat în tub de o picătură de mercur. Tubul este plasat orizontal, aşa încît în timpul dilatării presiunea rămîne neschimbată. Temperatura poate fi citită pe două termometre.

Gay-Lussac a determinat volumul gazului la temperaturi diferite, care variau între punctul de congelare al apei şi cel de fierbere ; el a făcut o corecţie pentru partea expusă a tubului. Folosind mai multe gaze, a obţinut următoarele rezultate pentru coefi-

Scanned with CamScanner

cientul de dilatare în $°C^{-1}$, la presiunea atmosferică :

Aer	0,003 671	CO_2	0,003 710
Hidrogen	0,003 661	CO	0,003 669
Oxid azotos	0,003 720	SO_2	0,003 903
Cian	0,003 877		

Valoarea medie este de 0,003 874 4 $°C^{-1}$ şi variaţia este de ordinul a 4%.

Gay-Lussac a extins experienţa la vaporii de eter, introducînd două tuburi similare în vasul de fierbere şi comparînd comportarea eterului cu aceea a aerului ; el nu a constatat vreo diferenţă apreciabilă. Concluziile şi le-a formulat în modul următor :

1. Toate gazele şi toţi vaporii se dilată în mod egal în acelaşi interval de temperatură.

2. Pentru gazele perfecte creşterea de volum între temperatura de topire a gheţii şi aceea de fierbere a apei este egală cu 100/26 666 din volumul iniţial.

Prin precizia lor, aceste formulări au depăşit în asemenea măsură pe ale lui Dalton, încît astăzi legea nu-i este atribuită acestuia ; dar Gay-Lussac, cu o generozitate din păcate rar întîlnită în ştiinţă, a insistat ca legea să poarte numele lui Charles (1746—1823), care găsise aceleaşi rezultate în 1787, dar nu le publicase. Astfel, legea este acum în general cunoscută ca legea lui Charles, deşi în unele ţări ea continuă să fie cunoscută ca legea lui Gay-Lussac.

Acest rezultat a dus la o altă noţiune importantă, şi anume aceea de zero absolut. Dacă temperatura scade sub 0°C, gazul va continua să se contracte şi, în mod ideal, va ajunge la volumul zero la o anu-

Scanned with CamScanner

mită temperatură, indiferent de gaz. Această temperatură trebuie aşadar să aibă o semnificaţie fundamentală. Dalton şi-a dat seama de acest lucru şi a făcut unele presupuneri cu privire la „gradul frigului absolut", iar dacă şi-ar fi formulat ideile la fel de simplu ca Gay-Lussac ar fi ajuns la concluzia că această temperatură este de —267°C, în surprinzătoare concordanţă cu ceea ce găsise Gay-Lussac. Dar argumentele sale includeau unele considerente filozofice nefundate, ceea ce l-a condus la cifra, mult mai coborîtă, de —840°C. În fizică o gîndire simplă şi directă este adesea de preferat uneia sofisticate.

Această noţiune de zero absolut domină o bună parte din fizică ; la început era considerată ca fiind acea temperatură la care un corp îşi pierde cu totul căldura, ceea ce ar însemna, în conformitate cu teoria cinetică, că toţi atomii sînt în stare de repaus. Nu e, firește, de aşteptat ca gazele să ajungă în această stare ; ele ar atinge o temperatură la care s-ar lichefia, încetînd astfel să mai fie supuse legii lui Charles. Rezultatul ne permite totuşi să construim o scară teoretică a temperaturilor independentă de proprietăţile unei anumite substanţe — pas necesar în dezvoltarea oricărei ramuri a fizicii. S-ar putea să fim obligaţi să începem cu o scară arbitrară a temperaturilor, cum este dilatarea mercurului într-un tub de sticlă, dar de îndată ce va fi posibil va trebui să o înlocuim cu alta mai perfecţionată.

Astfel, în 1851, lordul Kelvin (William Thomson) a propus să se considere că termometrul cu aer la presiune constantă oferă o asemenea scară, celelalte măsurători urmînd să fie făcute în raport cu

Scanned with CamScanner

ea. Se foloseşte aerul pur şi simplu din comoditate ; oricare alt gaz „perfect" ar fi la fel de potrivit, dar bineînţeles nu un gaz apropiat de punctul său de lichefiere. (Kelvin a mers de fapt mai departe, arătînd că o scară termometrică şi mai potrivită ar putea fi construită pe baza teoriei lui Carnot despre „forţa motrice a căldurii", dar fiind vorba de o chestiune pur teoretică nu o vom discuta aici.) În cinstea lui Kelvin, temperaturile măsurate pornind de la zero absolut sînt denumite °K, unitatea de măsură fiind însă aceeaşi ca în cazul scării Celsius.

Această succesiune de fapte ilustrează căile cu totul neaşteptate pe care are loc dezvoltarea fizicii ; măsurarea proprietăţii gazelor a pus în evidenţă unele regularităţi neaşteptate şi cercetarea lor mai aprofundată a furnizat baza pe care s-a putut construi o scară de temperaturi acceptabile din punct de vedere teoretic. Au putut fi aşadar efectuate măsurători mai precise şi capitolul termometriei a putut progresa. A putut fi măsurat coeficientul de dilatare al mercurului ca funcţie de temperatură — înlocuindu-se astfel vechea presupunere că ar fi o constantă — şi ca urmare au putut fi corectate rezultatele anterioare. În modul acesta „fizica se trage singură în sus".

Dar există unele implicaţii şi mai importante ale legilor gazelor. De ce există, în general, legi ale gazelor ? Însuşi faptul că există o similitudine în comportarea gazelor înseamnă că ele posedă ceva ce le deosebeşte fundamental de lichide şi solide. Ştim acum că este vorba de însăşi natura stării gazoase. Proprietăţile solidelor şi lichidelor depind de tipurile de particule din care sînt alcătuite ; for-

Scanned with CamScanner

ţele interatomice şi intermoleculare pot varia în limite foarte largi. Dar în gaze, moleculele — în comparaţie cu dimensiunea lor — sînt în mod obişnuit foarte îndepărtate unele de celelalte, iar durata de timp în care sînt suficient de apropiate pentru a se influenţa reciproc este foarte mică. Ansamblul are în consecinţă proprietăţi ce nu depind de forţele cu care moleculele acţionează unele asupra celorlalte. Acesta este motivul pentru care toate gazele se comportă în mod similar. Dar cînd condiţiile se schimbă, adică atunci cînd presiunea şi temperatura ating valori ridicate, probabilitatea ciocnirilor creşte şi similitudinile de comportare dispar.

Din moment ce gazele sînt similare, exceptînd masa moleculelor lor, ne-am putea aştepta să obţinem informaţii suplimentare prin măsurarea densităţii lor. Am văzut la p. 31 că prima încercare de măsurare a densităţii aerului a fost foarte rudimentară, dar că în secolul al XIX-lea măsurătorile au putut fi efectuate cu o precizie considerabilă. Gay-Lussac imaginase pînă şi mijloace de măsurare a densităţii aburilor. Toate aceste rezultate au arătat că, la o temperatură şi o presiune date, densitatea este proporţională cu greutatea moleculară. Iată cîteva rezultate obţinute prin metode de măsurare moderne pentru raportul ρ/M (densitate/greutate moleculară) : aer — $4{,}49 \times 10^{-5}$; A — $4{,}47 \times 10^{-5}$; CO_2 — $4{,}49 \times 10^{-5}$; He — $4{,}45 \times 10^{-5}$; H — $4{,}46 \times 10^{-5}$; N — $4{,}47 \times 10^{-5}$; O — $4{,}47 \times 10^{-5}$. De aici nu poate fi trasă decît o singură concluzie : la aceeaşi temperatură şi presiune toate

Scanned with CamScanner

aceste gaze conţin acelaşi număr de molecule pe unitatea de volum.

Este unul din marile principii unificatoare ale fizicii. Pentru prima dată a fost enunţat în 1811 de Avogadro (1776—1856) pentru a explica regulile volumetrice simple ale combinării gazelor, reguli care fuseseră descoperite de Lavoisier (1743—1794) şi de Dalton. Anticiparea lui Avogadro este într-adevăr remarcabilă ; ipoteza atomică fusese abia recent enunţată de Dalton, iar ideile de bază despre molecule — grupări simple ale unui număr mic de atomi — abia începeau să fie vehiculate în lumea ştiinţifică. Ipoteza lui Avogadro a fost ignorată în acea vreme, iar importanţa ei nu a fost înţeleasă pînă ce ea nu a fost „reînviată" în 1854 de Cannizzaro (1826—1910).

Este vorba într-adevăr de o lege remarcabilă. Există oare o mînă călăuzitoare care aşază în volume egale acelaşi număr de molecule de tot felul — căci legea se aplică atît amestecurilor cît şi elementelor şi compuşilor ? Acest mod de a pune problema este greşit. Din punct de vedere logic este mai bună următoarea formulare : la o temperatură dată, un număr egal de molecule aflate în volume egale produce presiuni egale. În această formulare ne putem da seama că avem de-a face cu o manifestare a marii generalizări din fizică pe care o datorăm lui Boltzmann — echipartiţia energiei.

Potrivit acestui principiu, la o temperatură dată toate moleculele ar trebui să aibă în medie aceeaşi energie cinetică ; cele mai grele ar trebui deci să aibă o mişcare mai lentă decît cele mai uşoare, şi astfel modificarea vitezei ca urmare a ciocnirii lor cu pereţii containerului va fi mai mică. În plus,

Scanned with CamScanner

viteza de mişcare prin container fiind mai mică, vor avea loc pe secundă mai puţine ciocniri cu pereţii. Presiunea unui gaz este însă o măsură a forţei exercitate de molecule asupra pereţilor containerului. Deşi forţa pare constantă, ea este în realitate compusă dintr-un foarte mare număr de impulsuri extrem de mici. A doua lege a mişcării formulată de Newton afirmă că forţa este produsul dintre masă şi variaţia vitezei în unitatea de timp — cu alte cuvinte, viteza de variaţie a impulsului, care este produsul dintre masă şi viteză. Aşadar viteza medie de variaţie a impulsului — de care depinde presiunea — este proporţională atît cu impulsul cît şi cu viteza, adică cu energia cinetică. Iar aceasta din urmă este, după Boltzmann, aceeaşi pentru toate moleculele.

Rezultă deci că legile gazelor sînt o manifestare a teoriei cinetice. Teoria cinetică se aplică *tuturor* formelor de materie, dar numai în cazul gazelor (pentru motivele arătate la p. 67) este atît de simplă şi de frumoasă.

Trebuie însă să atragem atenţia că încă nu am epuizat tot ce conţine această simplitate. Cele două legi ale lui Boyle şi Charles pot fi combinate într-un principiu unificator pentru toate gazele sub forma binecunoscutei ecuaţii

$$\frac{p\,V}{T} = \text{constant},$$

unde T, temperatura absolută, este măsurată în scara absolută Kelvin, p şi V fiind respectiv presiunea şi volumul. Această ecuaţie este de obicei atît de defectuos formulată în manualele de fizică,

Scanned with CamScanner

încît impresia pe care o face tînărului fizician în devenire este aproape nulă. În realitate este un rezultat remarcabil, fără seamăn în vreo altă ramură a fizicii.

Constanta poate fi măsurată pentru diferite gaze, dar trebuie să pornim de la condiţii standard, de pildă un gram de gaz la presiunea de o atmosferă şi o temperatură de 273°K. Vom obţine în acest caz valoarea constantei caracteristică pentru gazul ales de noi. Între diversele constante există însă o anumită legătură. Aşa cum am văzut, volumul unei mase date de gaz este invers proporţional cu greutatea lui moleculară, aşa încît, dacă nu luăm în considerare o unitate de masă ci o masă proporţională cu greutatea moleculară, constanta din ecuaţie ar trebui să fie aceeaşi pentru toate gazele. În consecinţă, am adoptat ca masă standard acea greutate în grame care din punct de vedere numeric este egală cu greutatea moleculară, adică ceea ce se numeşte o moleculă-gram. În fond acest lucru înseamnă adoptarea unui volum standard de gaz, şi anume 22,4 litri. Nu este greu de observat că la presiune, temperatură şi volum standard constanta va depinde exclusiv de aceste mărimi standard, iar nu de vreo caracteristică a gazului folosit.

Putem astfel prezenta legile gazelor sub forma generală

$$pV = RT,$$

unde R are aceeaşi valoare pentru *toate* gazele. Această ecuaţie este prima dintre marile generalizări din fizică, în care proprietăţile unei întregi clase de materiale sînt exprimate în funcţie de aceleaşi mărimi fundamentale. Este exact ceea ce în-

Scanned with CamScanner

cearcă să facă fizica — să găsească principii unificatoare care să fie independente de orice material particular. Fiind simple prin însăşi natura lor, gazele oferă în această privinţă primul exemplu.

Nu am putut să stabilesc cine anume a introdus pentru prima dată mărimea R. S-ar putea ca ideea să fi fost atît de evidentă încît nimeni să nu se fi sinchisit să-i reclame paternitatea. În toate manualele R este de obicei prezentat, în treacăt, drept o deducţie necesară din legile lui Boyle şi Charles, ceea ce şi este. Dar de obicei este necesar un geniu ca să atragă atenţia asupra unor lucruri evidente. Nici cei ce se ocupă de istoria ştiinţei nu par să fi consemnat introducerea constantei R ; niciuna din cărţile consultate de mine nu dă prea multă atenţie felului în care s-au dezvoltat legile gazelor.

Legile acestea reprezintă începuturile termodinamicii, domeniu de mare interes practic şi teoretic. Este foarte tentant să prezentăm aici descrierea experienţelor care au dus la dezvoltarea acestei ramuri a fizicii — măsurătorile căldurilor specifice ale gazelor efectuate de Regnault în jurul anului 1840, observaţiile privind abaterile de la legile gazelor constatate de Andrews în 1869 şi măsurătorile privitoare la rapoartele căldurilor specifice ale gazelor efectuate de Clément şi Désormes în 1819. Este de asemenea tentant să vorbim despre explorarea domeniului temperaturilor joase, în care mişcarea atomilor este aproape inexistentă şi apar alte fenomene, cum ar fi supraconductibilitatea. Dar toate acestea ne-ar îndepărta prea mult de scopul lucrării de faţă.

Recapitulînd deci cele expuse, am arătat în acest capitol cum cîteva experienţe simple au demonstrat

Scanned with CamScanner

un mod de comportare la care savanţii din trecut nu se aşteptau. Pentru aceştia, diversele gaze erau „aere", avînd probabil proprietăţi diferite, ca şi în cazul lichidelor şi solidelor. Legile pe care le-au descoperit au constituit o bază pentru ceea ce cunoaştem astăzi sub denumirea de teoria cinetică a gazelor, şi anume că gazele constau din nenumărate mici molecule care se mişcă dezordonat şi se izbesc fără încetare de pereţii containerului. Legea lui Avogadro stabileşte că, la o temperatură şi o presiune date, volume egale de gaze conţin un număr egal de molecule şi că acest fapt defineşte o constantă fundamentală — numărul lui Avogadro, adică numărul moleculelor dintr-o moleculă-gram.

Această mărime este, firește, prea mare pentru a putea fi măsurată în mod direct. Pe timpul lui Avogadro nu putea fi măsurată nici indirect ; a fost necesar să fie găsite mijloacele pentru a se efectua cel puţin o măsurătoare a dimensiunilor atomice. Prezentarea unor asemenea experienţe face obiectul unor capitole ulterioare.

Scanned with CamScanner

5
Sunetul

Am fost destul de tentat să omit sunetul din această carte. În definitiv, el nu priveşte decît atmosfera noastră şi nici unul dintre aspectele lui nu este atît de fundamental încît să nu poată fi ilustrat pe altă cale. Mai mult chiar, principiile de bază ale sunetului sînt complet elaborate şi este puţin probabil ca ele să ducă la o dezvoltare complet nouă a fizicii. Dar, pe de altă parte, auzul este, în ordinea importanţei, cel de-al doilea simţ al nostru şi sunetul ilustrează unele principii generale importante. În plus, el constituie oarecum un util termen de comparaţie pentru lumină, dat fiind că unele din primele păreri despre natura luminii au fost determinate de ceea ce se ştia despre sunet. De aceea cred că sunetului merită totuşi să i se consacre un scurt capitol.

Scanned with CamScanner

În primul rînd, vrem să ştim ce anume este sunetul. Ce ne permite să auzim efectele unei acţiuni care are loc la o anumită distanţă de noi? Ca de obicei, este necesar să măsurăm cît mai multe proprietăţi, pe care să încercăm apoi să le încadrăm într-un sistem coerent.

Trebuie, înainte de toate, să stabilim care este mediul ce transmite sunetul de la sursa lui la urechea noastră. Problema a necesitat folosirea pompei de vid, pe-atunci (în secolul al XVII-lea) de curînd realizată. Von Guericke a suspendat un clopoţel într-un recipient din care putea fi scos aerul şi a provocat lovirea automată a clopoţelului printr-un mecanism de ceasornic; el a observat o perceptibilă diminuare a sunetului pe măsură ce scădea presiunea în recipient.

Poate fi transmis sunetul şi prin alte medii decît aerul? Von Guericke a rezolvat această problemă cu ajutorul unei ingenioase experienţe, pe care cu greu am putea-o încadra în fizică. El făcea să sune un clopoţel ori de cîte ori se arunca pîine peştilor dintr-un lac. Apoi clopoţelul suna la alte ore fără să li se arunce hrană şi a observat că peştii continuau să-şi facă apariţia. (Experienţa aminteşte de cercetările de mai tîrziu efectuate de Pavlov asupra reflexelor condiţionate la cîini.)

Aşadar, sunetul este transmis prin intermediul unui mediu material. Cît de repede se propagă el? Că viteza sunetului poate fi măsurată este clar pentru oricine a văzut de la distanţă o acţiune audibilă — un sportiv lovind o minge, loviturile de secure ale unui tăietor de lemne. Sunetul este perceput sensibil mai tîrziu decît acţiunea care l-a provocat. Observaţia curentă că tunetul ne parvine

Scanned with CamScanner

mai tîrziu decît fulgerul constituie un alt exemplu. Dar pentru a stabili cantitativ această viteză este necesară o instalaţie relativ complicată.

Newton cunoştea, desigur cu aproximaţie, viteza sunetului în aer, deoarece era surprins de faptul că ea nu concorda cu deducţia sa teoretică (aceasta devansa, ca de obicei, cu mult epoca în care a trăit), şi anume că ar trebui să fie egală cu $\sqrt{(p/\rho)}$, unde p este presiunea şi ρ densitatea. Dar prima încercare serioasă de a se măsura cu exactitate această viteză a fost cea efectuată în 1738 de membrii Academiei de Ştiinţe a Franţei; de altfel, trebuie să fi fost unul din primele exemple de cooperare planificată a unui grup de oameni de ştiinţă — dar, din păcate, în scopuri militare.

Au fost aşezate tunuri la o distanţă de 30 km între ele; la intervale regulate, de cîte o jumătate de oră, se trăgea cîte o ghiulea de tun. Observatori aflaţi de o parte şi de alta notau intervalul de timp între clipa cînd vedeau fulgerul de lumină şi cel cînd auzeau sunetul. S-au folosit două grupuri de tunuri pentru ca valoarea medie să nu conţină erori datorate mişcării aerului, iar faptul că se trăgea la intervale regulate a avut probabil drept scop ca observatorii să fie pregătiţi pentru cronometrare. Dar intervale de jumătate de oră par prea lungi, dat fiind că sunetului nu-i trebuie decît circa două minute pentru a străbate distanţa. Valoarea obţinută a fost de 332 m s^{-1}, corectată pentru 0°C.

Din teoria lui Newton rezultă o valoare de 279 m s^{-1}, ceea ce a dovedit că ideile sale nu erau prea departe de adevăr. El a presupus că sunetul este transmis de schimbările locale ale presiunii, provo-

Scanned with CamScanner

cînd senzaţia de sunet prin mişcarea imprimată timpanului. Newton a rămas în situaţia neplăcută de a fi elaborat o teorie plauzibilă — deoarece dădea drept valoare a vitezei sunetului o cifră nu prea depărtată de adevăr —, dar care totuşi diferea de valoarea observată printr-o cantitate mult mai mare decît eroarea experimentală acceptabilă.

Dificultatea a fost rezolvată de Laplace (1749—1827), care şi-a dat seama că schimbările de presiune implică şi schimbări de temperatură, astfel încît legea lui Boyle — pe care Newton o acceptase — nu se aplică în cazul schimbărilor rapide, cum sînt cele care au loc cu ocazia propagării sunetului. Dar dacă legea lui Boyle nu se aplică, ce lege este valabilă în acest caz ? Răspunsul la această întrebare se găseşte în modul cum este măsurată căldura specifică (p. 43) a aerului, deoarece ea este mai greu de definit pentru gaze decît pentru solide sau lichide ; putem încălzi aerul la o presiune constantă lăsînd volumul să crească sau la un volum constant lăsînd presiunea să crească. În primul caz este necesară mai multă energie, deoarece în parte efectul obţinut se datorează presiunii care determină o creştere a volumului. Raportul dintre căldurile specifice măsurate în aceste două feluri este dat prin simbolul γ şi Laplace a arătat că formula corectă pentru viteza sunetului într-un gaz este $\sqrt{(\gamma p/\rho)}$. Dat fiind că pentru aer γ este de aproximativ 1,40, discrepanţa observată de Newton dispare aproape cu totul.

Terenul este acum pregătit pentru o cercetare mai amănunţită a sunetelor cu care sîntem deprinşi. În definitiv, nu sîntem obişnuiţi să auzim numai

Scanned with CamScanner

explozii ; auzim foarte multe cuvinte şi mulţi dintre noi ne expunem de bunăvoie unor diferenţe de presiune cunoscute sub denumirea de muzică. Prin ce se deosebesc aceste sunete de sunetele simple, explozive, singurele de care ne-am ocupat pînă acum ?

Firește, la această problemă oamenii s-au gîndit cu mult înaintea studiului sistematic al sunetului. Din timpuri preistorice omul a simţit că sunetele muzicale îl liniştesc sau îl emoţionează şi savanţii din antichitate au încercat să se lămurească în privinţa acestor sunete cu mult înainte ca ei să fi înţeles ce este propriu-zis muzica.

În principiu, putem spune că există două moduri de a produce sunete muzicale — dacă facem abstracţie de unele instrumente speciale cum ar fi toba şi trianglul. Pe de o parte, avem instrumentele de suflat, în care sunetul este produs de o coloană de aer, iar pe de alta — instrumentele cu coarde, la care sunetele sînt produse prin punerea în mişcare a unei coarde întinse. Va trebui să investigăm de ce sunetele produse prin aceste două sisteme sînt mai plăcute decît un simplu zgomot.

Una din primele investigaţii de acest fel se datorează lui Pitagora (circa 585—500 î.e.n.). El a folosit — probabil l-a şi inventat — monocordul, o sîrmă fixată la un capăt şi trecută peste muchea unui cuţit, în aşa fel încît putea susţine greutăţi ; coarda era supusă unor tensiuni mai mari sau mai mici. Se cunoşteau o mulţime de lucruri despre senzaţia produsă de diferite combinaţii de sunete ; unele erau plăcute, altele disonante. Pitagora a demonstrat că o combinaţie deosebit de armonioasă era produsă de coarde egal tensionate, dar al căror raport de lungime era de 2 : 1 ; se spune că aceste două note

Scanned with CamScanner

diferă printr-un interval de octavă. Acelaşi interval de octavă se obţinea şi cu fluiere ale căror lungimi erau în raportul de 2 : 1. Un interval cunoscut sub denumirea de cvintă se obţinea atunci cînd raportul era de 3 : 2. În felul acesta, Pitagora a arătat că numerele simple sînt asociate cu sunete plăcute. Nu posedăm însă nici o indicaţie că ar fi încercat să facă studii mai aprofundate în afară de unele generalizări cu caracter destul de vag.

Acum ştim, firește, că esenţa sunetului muzical este periodicitatea. Galilei pare să fi fost primul care şi-a dat seama de acest lucru, probabil datorită interesului său pentru pendul. După cum am văzut, el a arătat că oscilaţia pendulului poate fi întreţinută chiar de o forţă mică — cum ar fi un suflu de aer — dacă acest impuls este în mod regulat repetat în momentul cînd pendulul trece în aceeaşi direcţie prin poziţia sa de echilibru. Cu alte cuvinte, pendulul va intra în rezonanţă dacă forţa periodică va avea frecvenţa egală cu cea proprie (naturală) a pendulului.

În consecinţă, el a montat pe cordarul unei spinete o serie de coarde subţiri de lungimi diferite şi a observat că la emiterea unor sunete una sau alta dintre coarde începe să vibreze. De aici a dedus — putem chiar spune că a considerat drept demonstrat — că sunetele muzicale au fiecare o frecvenţă proprie de vibraţie. A imaginat un dispozitiv şi mai simplu, constînd dintr-o cupă scufundată aproape pînă la buza ei într-un vas mare cu apă, apoi a făcut-o să emită un sunet prin frecarea buzei ei. În jurul cupei au apărut mici unde radiale. Sunetul emis de cupă nu era foarte stabil ; uneori el se transforma într-un sunet cu o octavă mai înalt.

Scanned with CamScanner

Cu extraordinara sa capacitate de percepţie, Galilei a observat că atunci cînd se producea această schimbare, undele din apă deveneau de două ori mai fine. El nu a făcut însă nici o încercare de a măsura numărul vibraţiilor pe secundă, mărginindu-se doar să constate că numărul lor era vădit prea mare pentru a putea fi măsurat.

Galilei a mers şi mai departe decît Pitagora şi a stabilit relaţia cantitativă dintre proprietăţile fizice ale unei coarde întinse şi frecvenţa sunetului pe care o emite. Dar, ca de obicei, este greu de ştiut cum a procedat, deoarece s-a mărginit să enunţe rezultatele, arătînd că la aceeaşi tensiune o coardă de două ori mai scurtă emite un sunet mai înalt cu o octavă şi că dacă tensiunea unei coarde este cvadruplată se obţine, de asemenea, un sunet mai înalt cu o octavă. El a mai arătat că frecvenţa depinde de rădăcina pătrată a „dimensiunii" coardelor, prin aceasta înţelegînd masa pe unitatea de lungime. El a stabilit că o coardă de aur emite un sunet cu o cvintă mai jos decît o coardă similară din alamă, pentru că densitatea aurului este de două ori mai mare decît cea a alamei. El a obţinut rezultate mai concludente comparînd comportarea unei coarde cu o alta similară, dar înfăşurată de jur împrejur cu sîrmă — procedeu folosit şi azi la instrumentele muzicale pentru a se obţine note joase.

Este surprinzător că Galilei a putut ajunge la aceste rezultate cantitative pe o cale exclusiv calitativă, adică fără să dispună de vreo metodă de *măsurare* a frecvenţelor. La prima vedere s-ar putea crede că astfel de măsurători sînt neapărat necesare pentru găsirea diverselor relaţii, dar Galilei a izbutit să se descurce fără vreo măsurătoare.

Scanned with CamScanner

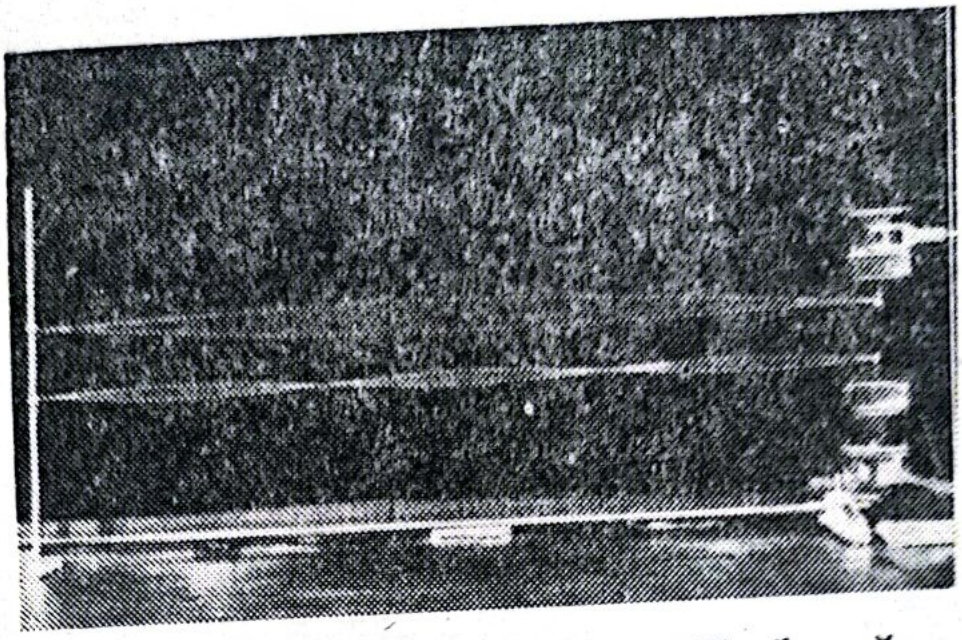


Fig. 10. Unde staţionare pe o coardă vibrantă.

Galilei a fost suficient de sigur pe sine pentru a afirma că înălţimea unei note este determinată de frecvenţa vibraţiilor care lovesc urechea şi apoi s-a preocupat de cauzele care pot genera armonia sau disonanţa. Armonia apare atunci cînd frecvenţele sunetelor se află într-un raport simplu. El a descris şi o experienţă efectuată cu mai multe pendule ale căror perioade se aflau în raporturile 2 : 3 : 4 ; dacă pendulele oscilează împreună, mişcarea coardelor produce desene plăcute ochiului, dar dacă perioadele nu se află în raporturi simple, mişcarea nu produce un desen coerent, observîndu-se doar o succesiune dezordonată de linii.

Ideile lui Galilei au fost reluate de alţi oameni de ştiinţă. Sauveur (1653—1716) s-a ocupat în 1701 de teoria vibraţiei coardelor şi a introdus noţiunea a ceea ce noi denumim astăzi stări staţionare (fig. 10). Punctelor unde deplasarea este nulă le-a dat denumirea de „noduri", iar vibraţiile undelor de lungime mai scurtă le-a denumit „armonice" ale

Scanned with CamScanner

celei mai mari lungimi de undă. În 1862 Helmholtz (1821—1894) a emis ideea că o vibraţie complexă poate fi considerată drept combinaţia unei vibraţii fundamentale, însoţită de „armonicele“ sale ; timbrul unui instrument muzical ar putea fi considerat ca fiind produsul unor „armonice“ de diferite proporţii. Din această cauză, de pildă, o notă produsă de flaut sună diferit de aceeaşi notă cîntată la vioară. Aceste păreri sînt general acceptate, deşi acum ştim că ele nu constituie un răspuns complet. Cu cît ştim mai mult despre procesele naturale — ca, de pildă, despre auz —, cu atît ele ni se înfăţişează ca mai subtile şi mai minunate.

Pentru fizică în ansamblul ei, cea mai importantă contribuţie adusă de studiul sunetului este fără îndoială conceptul de stare staţionară. Mai jos vom vedea că această noţiune poate fi extinsă asupra altor sisteme vibratorii, iar prin intermediul mecanicii ondulatorii (p. 264) ea ne duce la însăşi structura atomului.

Scanned with CamScanner

6
Lumina

Văzul este de departe cel mai important simţ al nostru, iar lumina — agentul datorită căruia vedem — este de o asemenea importanţă încît nu e de mirare că de-a lungul veacurilor filozofii s-au străduit să afle în ce constă ea de fapt. A fost poate primul domeniu al fizicii care a fost supus unor măsurători şi există mărturii că în secolul al III-lea î.e.n. Euclid cunoştea legile reflexiei pe o suprafaţă plană şi că în secolul al II-lea Ptolemeu s-a ocupat de refracţie.

Un progres efectiv a fost însă realizat la începutul secolului al XVII-lea. Prima problemă ce trebuia rezolvată era să se stabilească modul în care este transmisă lumina. Prima „experienţă" a fost, poate, cea consemnată de Torricelli. El a arătat că din moment ce putem vedea prin vidul din partea posterioară a barometrului său este clar că lumina se propagă prin

Scanned with CamScanner

vid, neavînd nevoie de un agent material care să o poarte. Constatarea era uluitoare, deoarece se ştia că sunetul — care părea să fie foarte asemănător cu lumina — are nevoie de aer pentru a fi transmis. Nelămurirea a dăinuit pînă la mijlocul secolului al XIX-lea.

Nu sînt lesne de urmărit primele date referitoare la acest subiect, probabil fiindcă mulţi oameni au studiat proprietăţile luminii şi cunoştinţele s-au acumulat treptat. Aşa, de pildă, legea potrivit căreia într-un mediu uniform lumina se propagă în linie dreaptă este general acceptată, deşi este extrem de greu de dovedit. De obicei, pentru a exprima rectiliniaritatea, noi folosim tocmai această proprietate a luminii. Faptul că o sursă punctiformă dă naştere unor umbre cu contururi precise nu este concludent, deoarece acelaşi rezultat s-ar obţine dacă toate razele apropiate ar avea traiectorii similare.

Dar să acceptăm legea ca atare şi să vedem cum au fost cercetate alte proprietăţi ale luminii. În prima jumătate a secolului al II-lea, Ptolemeu a enunţat legile reflexiei într-un mod foarte apropiat de ceea ce cunoaştem astăzi. Scrierile lui au fost în mare parte pierdute şi nu este clar cum a ajuns el la aceste rezultate. Lucrarea lui despre refracţie este însă mult mai bine documentată şi adesea se afirmă că el ar fi putut deduce din măsurătorile sale legea corectă a refracţiei. Dacă examinăm însă mai atent lucrarea, vom constata că rezultatele lui nu erau suficient de exacte pentru a permite realizarea acestui scop.

El a stabilit în modul următor unghiurile de incidenţă şi refracţie pentru lumina ce trece din aer

Scanned with CamScanner

în apă. A luat un cerc gradat (este surprinzător cît de veche este împărţirea unghiului drept în 90 de părţi) şi l-a cufundat în apă, în aşa fel încît suprafaţa lichidului să coincidă cu aceea a diametrului (fig. 11). A aşezat două repere, unul în

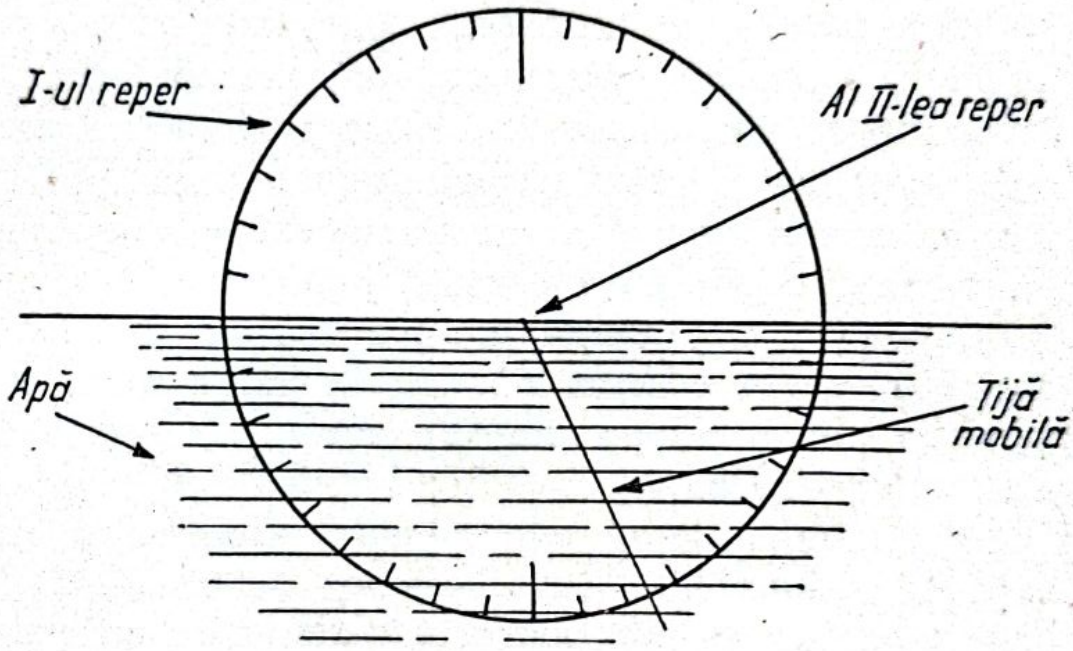


Fig. 11. Principiul metodei lui Ptolemeu pentru stabilirea valorii unghiurilor de incidenţă şi refracţie, la suprafaţa de separare aer-apă.

centrul cercului, iar celălalt în diferite puncte de pe circumferinţă ; apoi a reglat tija în aşa fel încît să apară ca fiind în linie cu cele două repere. El a întocmit un tabel al rezultatelor şi pare să se fi mulţumit cu găsirea unei metode de măsurare a refracţiei, fără să stabilească vreo relaţie.

El a aplicat o metodă similară pentru sticlă, folosind în acest scop un semicilindru, pe care l-a întrebuinţat şi pentru măsurarea refracţiei de la apă la sticlă. Să privim acest prim tabel de rezultate.

Scanned with CamScanner

Tabelul rezultatelor obținute de Ptolemeu pentru refracția de la aer la apă

i	10	20	30	40	50	60	70	80
r	8	15½	22½	29	35	40½	45½	50

Ar fi putut el oare să deducă din aceste cifre legea refracției ? Ele dau valori ale indicelui de refracție (sin *i*/sin *r*) variind de la 1,25 la 1,34 — nu prea constante, dar o precizie mai mare nici nu era de așteptat ; nici una din erori, cu excepția ultimei valori, nu depășește cu mult jumătate de grad.

O privire mai atentă dă însă naștere unei suspiciuni ; putem observa că valorile lui *r* se găsesc între ele într-o relație simplă : *diferențele* succesive diferă între ele cu ½° : 7,5° ; 7° ; 6,5° ; 6° ; 5,5° ; 5° ; 4,5°. Acest lucru este complet anormal și ne face să ne întrebăm dacă Ptolomeu nu a „ajustat" cumva rezultatele sale pentru a corespunde cu ceea ce considera a fi o secvență rațională. Această bănuială este sporită de faptul că celelalte două tabele ale sale au exact aceeași caracteristică.

Din moment ce diferențele sînt într-o progresie aritmetică, între *i* și *r* ar trebui să existe o relație pătratică simplă. Poate că ar fi amuzant pentru cititor să o calculeze el însuși. În orice caz, acesta este rezultatul pe care Ptolemeu ar fi trebuit să-l obțină din măsurătorile sale. El ar fi fost, firește, greșit și lipsit de sens din punct de vedere fizic. Desigur, nu-i putem aplica lui Ptolemeu același criteriu de obiectivitate științifică ca în zilele noastre ; el nu avea vreo tradiție care să-l călăuzească și nu s-a gîndit probabil că rezultatele obținute de

el au vreo importanţă ; era pur şi simplu încîntat de experienţă ca atare. Aşa încît nu trebuie să fim prea severi cu el. Pe de altă parte, nu trebuie nici să ne grăbim cu concluzia că din moment ce existau rezultate legile general acceptate ar fi putut fi deduse din ele.

Deşi în prezent îi atribuim lui Snell (1591—1626) actuala lege a refracţiei, este probabil că ea a fost stabilită înaintea lui de către Hariot (1560—1621). Hariot a luat o prismă de sticlă (fig. 12), a aşezat faţa *AB* perpendicular pe linia *PQR*, desenată pe o masă ; el ştia că pe această faţă nu se va constata

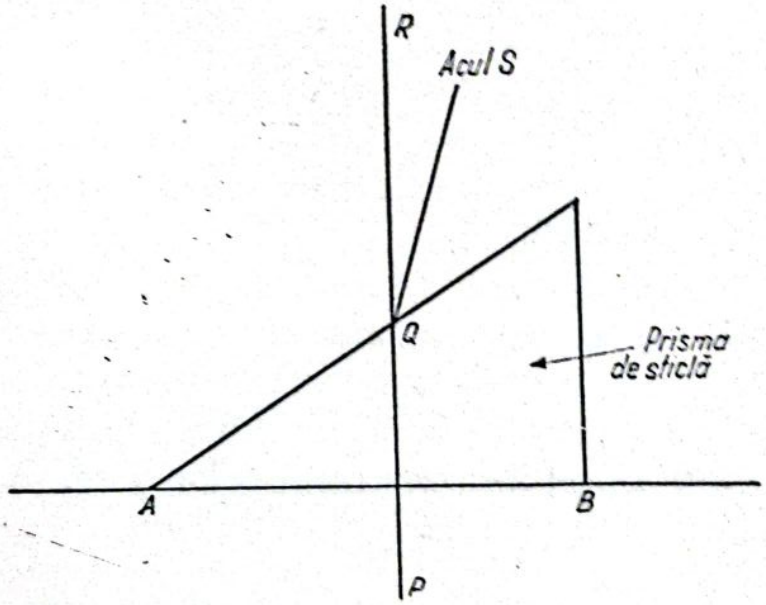


Fig. 12. Principiul metodei folosite de Hariot pentru a stabili valorile unghiurilor de incidenţă şi refracţie la suprafaţa de separaţie aer-sticlă.

nici o deviere. A privit în lungul liniei *PQ* şi a cerut unui prieten să plaseze un ac cu gămălie *S* într-o asemenea poziţie încît acul să pară a fi în linie cu *PQ* atunci cînd este privit prin prismă.

Scanned with CamScanner

Cunoscînd unghiul prismei, a putut calcula unghiurile de incidenţă şi de refracţie. A repetat experienţa folosind diverse prisme cu unghiuri diferite şi a ajuns la rezultatul pe care-l cunoaştem astăzi. El a dat pentru sin *i*/sin *r* valoarea de 1/0,652 870 3.

Metoda era greoaie, deoarece necesita cîte o prismă pentru fiecare unghi de incidenţă, pornind de la premisa că toate prismele sînt confecţionate din aceeaşi sticlă. Cu toate acestea, pare să fi fost — după cîte ştiu — prima experienţă reuşită de acest fel.

În plus, a fost o lucrare *experimentală*. Snell ajunsese la concluziile sale — lucrul acesta este aproape sigur — pe cale pur teoretică (calea pe care a ajuns la ele nu ne este cunoscută). Descartes, formulînd, în 1638, legea într-un chip nou i-a dat numele lui Snell. Descartes desconsidera experienţele şi a ajuns, probabil, la concluziile sale tot pe cale teoretică. Este aproape sigur că a pornit de la aceleaşi idei ca şi Newton mai tîrziu, şi anume că refracţia este cauzată de atracţia şi de accelerarea particulelor de lumină cînd se apropie de suprafaţa de refracţie, această accelerare fiind o consecinţă a atracţiei. Noi trebuie însă să respectăm tradiţia şi să-i atribuim lui Snell onoarea de a fi enunţat legea.

Abia se risipise ceaţa ce învăluia această chestiune, că s-a şi pus o nouă problemă : anumite substanţe cristaline nu ascultau de legile simple ale refracţiei, producînd *două* imagini în loc de una. Acest fenomen — denumit dublă refracţie — a fost pentru prima oară observat în 1669 de către Bartholinus (1625—1698) şi este ilustrat în figura 13. Ma-

Scanned with CamScanner

terialul folosit de Bartholinus — un cristal dintr-un carbonat de calciu denumit spat de Islanda — este şi azi folosit ca fiind cel mai bun material pentru a prezenta acest fenomen.

Ar fi fost desigur posibil ca, dintr-un motiv oarecare, cristalul să aibă doi indici de refracţie

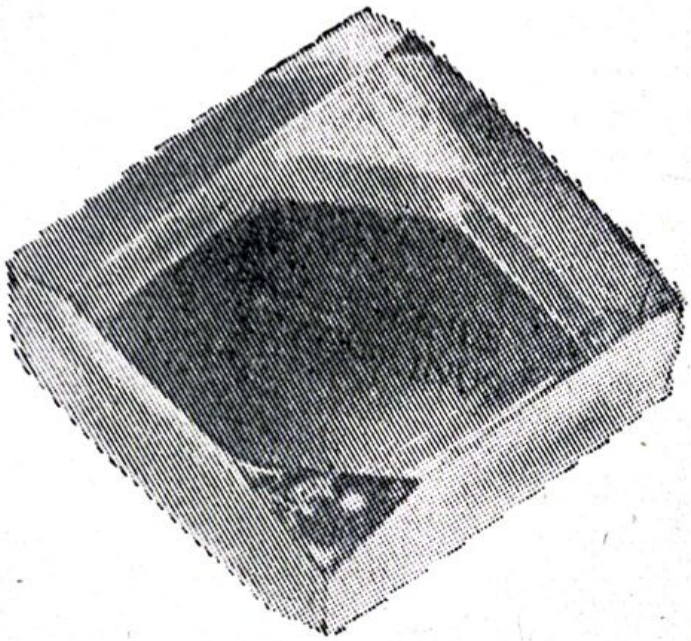


Fig. 13. Dubla refracţie într-un spat de Islanda.

şi ca o parte a luminii să se supună unui indice de refracţie, iar restul — celuilalt. Dar prin măsurare s-a văzut că una din imagini nu asculta de legea lui Snell ; chiar şi un unghi zero de incidenţă producea un unghi de refracţie diferit de zero. Se spune că această imagine ar fi produsă de raze „extraordinare", cealaltă imagine fiind produsă de raze ce se supun legii lui Snell şi care, de aceea, sînt numite raze „ordinare".

Iată-ne deci în faţa unei probleme dificile. Trebuia să renunţăm la ideile general acceptate despre

Scanned with CamScanner

comportarea luminii şi nu numai să introducem un nou mecanism al refracţiei, dar să şi găsim pentru natura luminii o explicaţie care să permită apariţia unor asemenea fenomene. Prima parte a problemei a fost rezolvată curînd : în 1690 Huygens (1625—1695) elaborase întreaga teorie.

Aici este cazul să evidenţiem meritul lui Huygens, căci, fiind contemporan cu Newton, contribuţia sa la procesul ştiinţei nu este întotdeauna apreciată aşa cum se cuvine. Nu trebuie să uităm că fizica se afla încă la începuturile ei. Cu numai cîteva zeci de ani înainte oamenii abia se străduiau să-i pună temeliile. Şi iată că foarte curînd apare o minte în stare să ducă problema pînă la capăt şi să construiască o teorie care nici pînă astăzi nu s-a schimbat decît ca metodă de prezentare.

Cealaltă problemă — de ce o parte din lumină se comportă într-un fel, iar cealaltă într-altul — s-a dovedit a fi mult mai greu de rezolvat, în jurul ei desfăşurîndu-se binecunoscuta controversă dintre Newton şi Huygens. Primul credea că lumina este alcătuită din corpusculi, cel de-al doilea că ea are o natură ondulatorie. Astăzi ne vine uşor să spunem că Newton se înşelase (nici chiar un Newton nu este infailibil !) şi că Huygens avea dreptate. Să examinăm acum, atît cît ne este posibil, cu ce argumente îşi susţinea fiecare punctul său de vedere. Lui Newton îi plăcea ideea existenţei corpusculilor din cauza propagării rectilinii a luminii ; particulele se propagă în linie dreaptă atîta timp cît asupra lor nu acţionează o forţă. Iar dacă lumina ar fi, ca şi sunetul, un fenomen ondulatoriu longitudinal, ar fi de neconceput ca diferitele părţi ale ei să se poată comporta în moduri diferite. De

fapt, în ceea ce privește dubla refracție, poziția lui Huygens era mai slabă, deoarece el presupunea că lumina trebuie să fie o undă longitudinală ; se pare că el a înlăturat pur și simplu această problemă din preocupările sale, bazîndu-se, pentru a-și argumenta teoria ondulatorie, pe alte fenomene, care vor fi descrise mai jos.

Newton a putut găsi cu destulă ușurință explicații ale fenomenului de dublă refracție pentru cazul cînd lumina ar consta din particule. Într-adevăr, particulele pot să aibă laturi care să difere între ele, ca la magneți ; cristalul le-ar tria după orientările lor, tratîndu-le în mod diferit. După cum se exprimă Newton, „fiecare rază de lumină are deci două laturi opuse, înzestrate de la origine cu proprietatea de care depinde refracția anormală, precum și alte două laturi opuse neînzestrate cu această proprietate". Prin analogie cu magnetul se putea spune că corpusculii lui Newton sînt polarizați, și acest termen s-a menținut, cu toate că concepția lui Newton a fost de multă vreme înlăturată. Este ciudat că nici Newton, nici Huygens nu s-au gîndit că lumina ar putea să fie o vibrație transversală.

Exista însă un fenomen mult mai simplu pe care ipoteza lui Newton nu-l putea explica, și anume reflexia și refracția simultană la suprafața sticlei. El a enunțat o idee destul de nebuloasă, aceea a unor „stări" de „reflexie ușoară" și a unora de „refracție ușoară". El presupunea că o rază alcătuită dintr-o mulțime de corpusculi poate fi uneori într-o stare propice reflexiei, urmată de o stare propice refracției și așa mai departe. Cu ajutorul fenomenelor de interferență — pe care le vom men-

Scanned with CamScanner

ţiona mai jos — el a putut să măsoare distanţele dintre aceste „stări", ele fiind pentru culoarea roşie de 1/89 000 inch. Această valoare este egală cu $2{,}7 \times 10^{-5}$ cm, adică, după cum ştim în prezent, nu mult diferită de jumătate din lungimea de undă. Newton a fost, într-adevăr, foarte aproape de teoria ondulatorie.

Este ciudat că Newton pare a nu-şi fi dat de loc seama de implicaţiile fenomenului de difracţie. Acest fenomen a fost descoperit de Grimaldi (1618—1663), care a încercat probabil să vadă ce se întîmplă dacă duci o experienţă pînă la limitele ei. Pentru un fizician este un exerciţiu foarte bun; numeroase drumuri noi au fost deschise ca urmare a încercării de a se vedea care sînt condiţiile extreme în care un fenomen obişnuit nu se mai produce.

În cazul de faţă este vorba de precizia contururilor umbrelor. Se ştie că o sursă mare de lumină, cum ar fi Soarele, produce umbre cu contururi difuze (fig. 14 *a*) şi că o sursă mai mică dă umbre cu contururi mai precise (fig. 14 *b*). Continuă oare acest efect la infinit? Grimaldi a constatat că, dacă se foloseşte o mică gaură de ac luminată, umbrele devin din nou mai difuze şi, în plus, apar „franje paralele, benzi sau şiruri de lumină colorată, adiacente umbrelor". Grimaldi a observat aceste efecte folosind lumina soarelui, pe care o făcea să pătrundă într-o cameră întunecată printr-un mic orificiu. Fig. 14 *c* reprezintă o fotografie modernă pe care se vede acest efect produs de o lampă cu vapori de mercur avînd un arc de dimensiuni foarte reduse. Efectul a fost redescoperit în 1672 de către Hooke.

Scanned with CamScanner

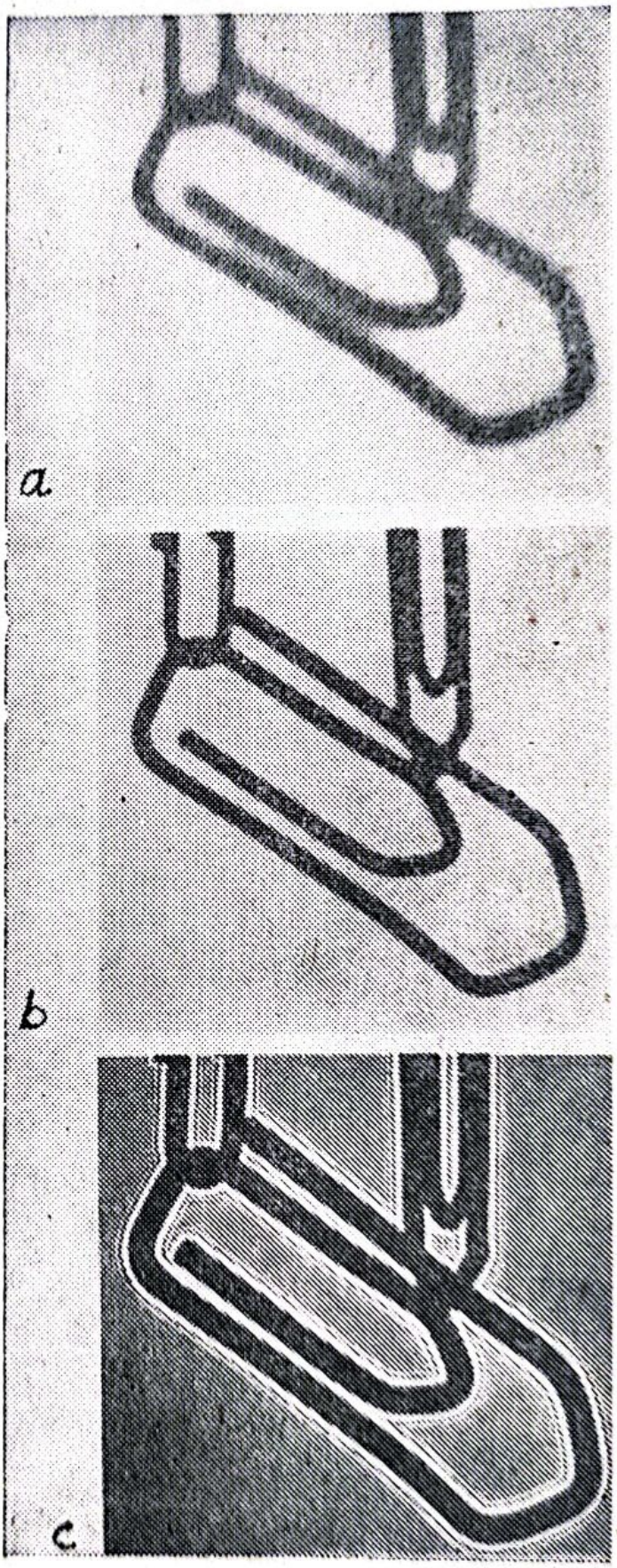


Fig. 14. Umbrele unor agrafe. Umbra proiectată (*a*) de o sursă luminoasă de mari dimensiuni; (*b*) de una de dimensiuni mai mici; (*c*) de una foarte fină.

Scanned with CamScanner

Newton era intrigat de aceste efecte şi a refăcut experienţa. A extins aria rezultatelor, încercînd fante diferite. Figura 15 reprezintă o schiţă a

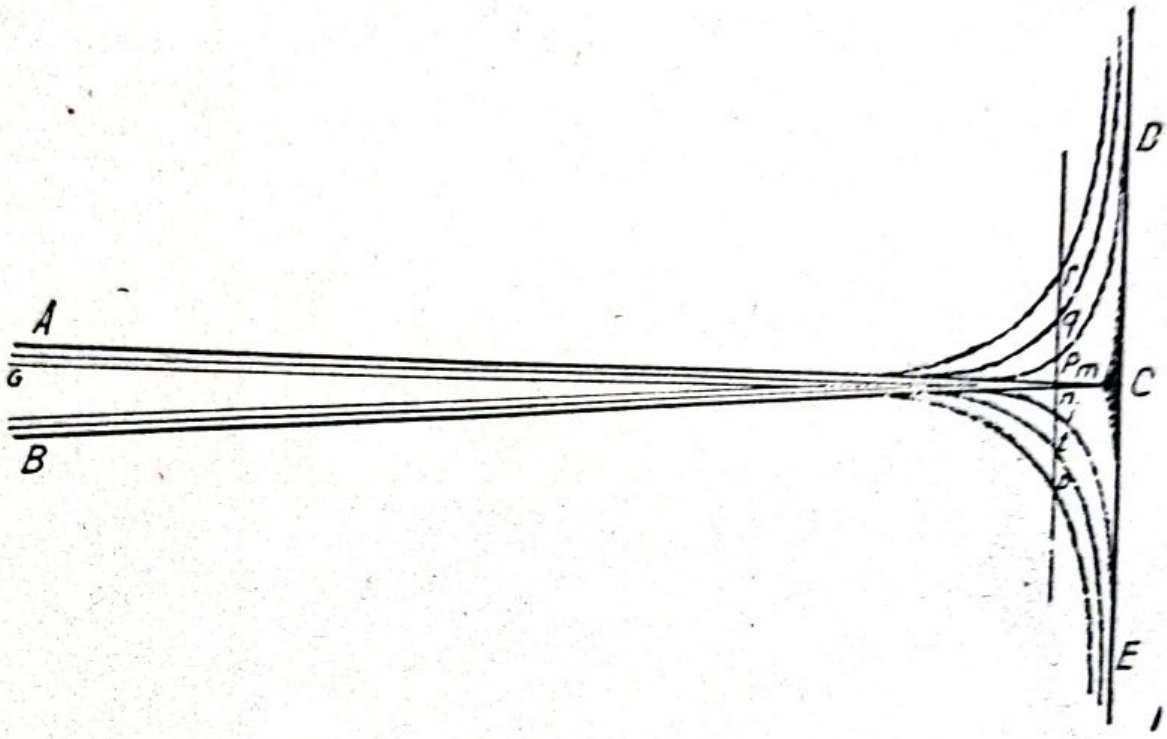


Fig. 15. Schiţa lui Newton arătînd figurile de difracţie produse de o fantă care se îngustează.

efectelor pe care le-a observat în cazul unei fante care se îngustează ; ea arată în mod clar lărgirea umbrei spre capătul îngust al fantei. Dar Newton nu a mers mai departe. După ce a efectuat un mare număr de experienţe şi după ce a măsurat „cum razele de lumină sînt curbate la trecerea lor prin apropierea unor corpuri", el face remarca : „Dar apoi am fost întrerupt şi acum nu mai poate fi vorba să mă mai ocup de aceste lucruri".

Concluziile lui Newton sînt foarte ciudate. El folosise propagarea rectilinie ca dovadă că lumina

Scanned with CamScanner

nu poate fi o undă, deoarece undele ocolesc obstacolele rotunde — şi totuşi aici admite că razele de lumină se curbează. Concepţiile marelui savant au împiedicat progresul în acest domeniu timp de peste o sută de ani. Trebuie să ne ferim să idolatrizăm chiar şi pe cel mai ilustru dintre oameni.

Spre sfîrşitul secolului al XVIII-lea încep să se nască dubii în privinţa teoriei corpusculare ; unii oameni de ştiinţă au găsit posibilitatea de a explica observaţiile lui Grimaldi cu ajutorul teoriei ondulatorii. Cel mai însemnat dintre ei a fost Fresnel (1788—1827). Cu toate că viaţa i-a fost scurtă şi în ciuda complicaţiilor cu caracter politic din perioada napoleoniană, numele său s-a impus în fizică ca al acelui care a definit clasa fenomenelor de difracţie pe care le descoperise Grimaldi. Fresnel a elaborat întreaga teorie a acestora.

Fresnel a avut în Arago (1786—1855) un susţinător pasionat. Ei au efectuat împreună numeroase experienţe. Una dintre ele, destul de banală, s-a dovedit a fi de o extremă importanţă, deoarece i-a convins pînă şi pe adversarii teoriei ondulatorii de justeţea acesteia. Experienţa în chestiune a fost efectuată datorită unor afirmaţii ale lui Poisson (1781—1840), una din cele mai marcante figuri ştiinţifice ale Franţei de la începutul secolului al XIX-lea.

Poisson a arătat că, dacă un obstacol circular este plasat în calea unui fascicul de lumină divergent provenit dintr-o sursă punctiformă aşezată pe axa obstacolului, undele — în caz că lumina ar fi o mişcare ondulatorie — ar trebui să ajungă în fază pe contur şi deci ar trebui să se recombine în centrul

Scanned with CamScanner

umbrei, producîndu-se acolo o pată luminoasă. El a considerat această deducţie atît de absurdă încît a respins teoria ondulatorie. Dar Fresnel şi Arago au fost mai îndrăzneţi; ei au supus deducţiile lui Poisson unei verificări experimentale şi au constatat că pata luminoasă apărea efectiv (fig. 16). În felul acesta, unul dintre principalii adversari ai teoriei ondulatorii a fost înfrînt şi de atunci teoria a fost general acceptată.

Această poveste are o morală : să nu te bizui numai pe teorie. Oricît de evidente ar părea rezultatele obţinute pe cale teoretică, ele trebuie întotdeauna verificate experimental înainte de a fi acceptate. Dacă testele sînt satisfăcătoare, teoria poate fi dusă mai departe, procedîndu-se apoi la noi verificări. Aceste verificări pot să ofere sugestii pentru modificarea teoriei, tot aşa cum pot să determine abandonarea ei. Cele două laturi ale fizicii merg mînă în mînă.

Se mai poate efectua şi un alt tip de verificare a teoriei ondulatorii, folosindu-se în acest scop alt fenomen — interferenţa. Putem deosebi fenomenul de difracţie de cel al interferenţei definind primul ca fiind produs prin delimitarea unui singur fascicul de lumină, iar pe al doilea ca rezultînd din combinarea a două sau mai multe fascicule de lumină.

Cea mai cunoscută experienţă de interferenţă este în acelaşi timp şi cea mai simplă — obţinerea franjelor Young prin interferenţa luminii ce trece prin două fante subţiri. Young (1772—1829) şi-a dat seama că nu pot fi observate efecte de interferenţă

Scanned with CamScanner

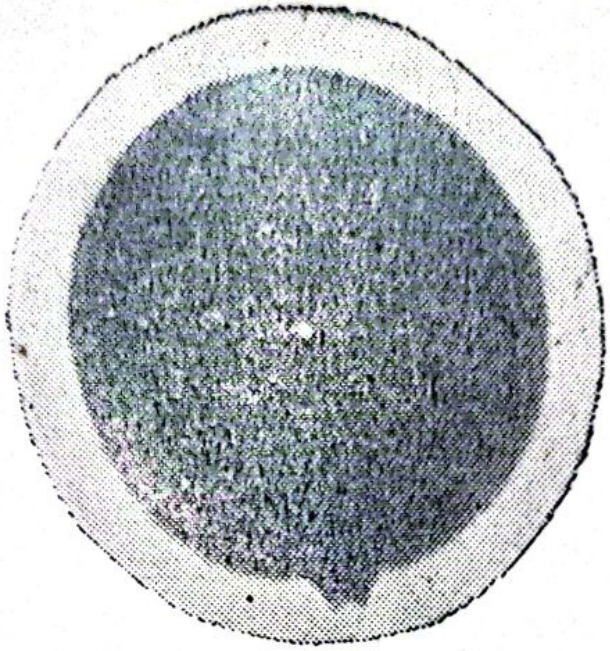


Fig. 16. Pată luminoasă în centrul umbrei unui obiect circular.

dacă se folosesc două fascicule independente şi în 1807 a imaginat următorul sistem. Lumina soarelui pătrundea într-o cameră întunecată printr-un mic orificiu făcut cu un ac subţire, obţinîndu-se un con de lumină divergent. În centrul acestui con a aşezat o fîşie dintr-un cartonaş cam de 1 mm lăţime. Această fîşie împărţea conul în două părţi separate. A aşezat apoi în drumul fasciculului de lumină un ecran şi a observat formarea unor franje egal distanţate — cel din centru alb, iar celelalte colorate. Franjele erau suprapuse peste figura de difracţie a lui Fresnel (fig. 17). Dacă mişca fîşia de carton spre marginea fasciculului primar, franjele dispăreau. El a efectuat şi alte verificări pentru a fi sigur că efectul era într-adevăr produs prin împărţirea fasciculului primar. Acum putem să efectuăm această experienţă încă şi mai simplu : tăiem cu o lamă

Scanned with CamScanner

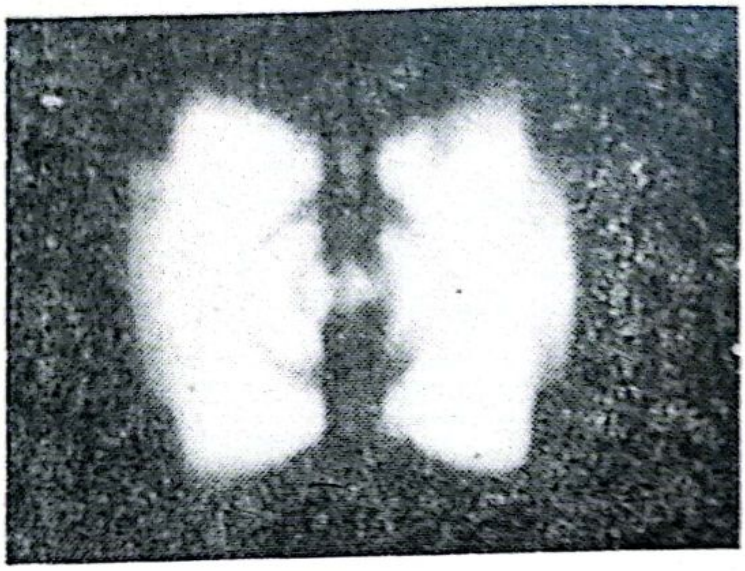


Fig. 17. Franje Young produse pe calea descrisă inițial de Young.

două fante subțiri la o distanță de circa 1/2 mm între ele. Ținîndu-le destul de aproape de ochi, ne uităm la o sursă de lumină îndepărtată. Franjele pot fi văzute foarte clar.

Experiența lui Young — simplă dar hotărîtoare — a jucat un rol important în sprijinul teoriei ondulatorii, susținută de Fresnel. Experiențele simple sînt întotdeauna mai convingătoare decît cele complicate, căci dacă trebuie folosit un mare număr de aparate există oricînd posibilitatea să intervină efecte perturbatoare. Un dispozitiv simplu, clar, putînd fi ușor înțeles, este categoric preferabil.

Un alt mare avantaj al dispozitivului lui Young îl constituie faptul că rezultatele pot fi cu ușurință exprimate cantitativ. Fenomenele de difracție descoperite de Fresnel pot fi tratate cantitativ doar cu un aparat matematic mai avansat. Teoria franjelor Young este deosebit de simplă. Ele pot fi folosite la măsurarea lungimilor de undă, rezultatele avînd o aproximație de numai 1%.

Scanned with CamScanner

Experienţele care au marcat etape în fizică sînt rareori definitiv încheiate ; ele deschid drumul spre alte idei şi dezvoltări în domeniul respectiv, iar experienţa lui Young oferă în această privinţă un excelent exemplu. Ea le-a dat lui Arago şi Fresnel ideea să efectueze experienţe de interferenţă cu lumină polarizată, care au dus, în final, la concluzia transversalităţii undelor luminoase. Această idee pătrunsese pe nesimţite în gîndirea fizicienilor din acea vreme, dar îi mai lipsea dovada experimentală.

Arago şi Fresnel şi-au dat seama că, dacă ar putea să arate că fasciculele polarizate „invers" nu pot să producă franje de interferenţă, problema ar fi rezolvată. Aşadar, tot ce aveau de făcut era să polarizeze cele două fascicule care treceau prin cele două fante din montajul lui Young şi să observe dacă apar franje. Acest lucru era uşor de spus, dar greu de realizat. Arago şi Fresnel erau foarte conştienţi de importanţa producerii unor unde dintr-o sursă comună (ceea ce noi denumim astăzi coerenţă) ; de aceea ei au suspectat primele lor rezultate, deoarece metodele lor de polarizare ar fi putut să introducă totodată şi incoerenţă.

Lucrarea lor, publicată în 1819, descrie în amănunţime toate experienţele efectuate şi propriile lor îndoieli în privinţa acestora. Este poate regretabil că azi o asemenea lucrare nu ar fi acceptată spre publicare. Editorul ar spune desigur autorilor să scurteze lucrarea trecînd peste tot ce nu este experienţă cu rezultate certe şi menţionînd doar experienţele pe care ei le consideră că pot demonstra în mod precis punctul lor de vedere. În felul acesta se pierd

Scanned with CamScanner

cu siguranţă foarte multe lucruri interesante. Aici însă voi fi nevoit să aplic eu însumi acelaşi procedeu.

Pentru a produce polarizarea ei au introdus în fascicul o placă dintr-un material birefringent şi au folosit fasciculul ordinar şi cel extraordinar pentru a înlocui cele două fante care în experienţa lui Young jucau rolul surselor de lumină. Dar în felul acesta se introduceau drumuri optice de lungimi diferite. Pentru a compensa diferenţa ei au aşezat în drumul unuia dintre fascicule o placă de sticlă de grosime cunoscută. Fiind însă oameni cu judecată, nu voiau „să depindă de considerente teoretice" şi de aceea, pînă la urmă, au efectuat următoarea experienţă.

Au plasat peste cele două fante ale lui Young o placă de selenită uniform birefringentă — o varietate de ghips, $CaSO_4.2H_2O$. În felul acesta, fiecare fantă trebuia să producă două fascicule divergente, unul ordinar şi unul extraordinar. Ar trebui deci să existe *trei* grupe de franje de interferenţă — una provenită de la cele două fascicule ordinare, una de la cele două fascicule extraordinare şi una rezultată din amestecul lor. Primele două ar fi trebuit să se suprapună exact şi să nu depindă decît de distanţa dintre fante ; celălalt ar trebui să depindă de grosimea plăcii de selenită. În realitate nu s-a observat nimic ce ar corespunde ultimului grup de franje, aşa cum de altfel se şi aşteptau.

Dar un rezultat nul nu este convingător. Arago şi Fresnel au tăiat placa de selenită în două, aşezînd pe fiecare fantă cîte o jumătate din ea, din care una rotită în planul ei astfel încît să fie perpendiculară pe cealaltă jumătate. Acum au consta-

Scanned with CamScanner

tat numai franje produse prin suprapunerea fasciculelor ordinare şi extraordinare. Deoarece de astă dată au intervenit diferenţe de drum, aceste fascicule formează două grupuri deplasate unul faţă de altul.

Arago şi Fresnel trebuie să fi fost satisfăcuţi de aceste experienţe care, deşi simple, au necesitat o mînuire foarte atentă. Ei au încercat să afle care este efectul atunci cînd una din plăcile de selenită este rotită cu 45° şi au constatat că toate franjele apar laolaltă. Au dovedit în felul acesta că fasciculele polarizate la unghiuri drepte nu pot interfera şi deci singura concluzie logică era că lumina este o vibraţie transversală şi că polarizarea înseamnă limitarea vibraţiei la un anumit plan. Sînt convins că Newton ar fi fost foarte necăjit că nu găsise această explicaţie simplă şi evidentă, contrastînd cu complicata sa concepţie despre corpusculi cu proprietăţi anizotrope.

Există şi o altă proprietate evidentă a luminii de care trebuie să ne ocupăm : culoarea. Ce proprietate fizică îi permite luminii să producă senzaţii atît de minunate ? Prin experienţele sale cu prisme, Newton a pus în 1666 fundamentul acestui domeniu, deşi abia în 1672 a găsit cu cale să publice rezultatele acestor experienţe. Newton nu se grăbea niciodată să-şi publice rezultatele obţinute.

Savantul era fascinat de culorile spectrului produs de o prismă pe care şi-o cumpărase, şi acasă la el a făcut cîteva experienţe simple. Şi alţi oameni observaseră asemenea spectre, dar nimeni nu cercetase în mod sistematic natura lor. Pe atunci, majoritatea oamenilor erau înclinaţi să creadă că,

Scanned with CamScanner

într-un fel sau altul, prisma colorează lumina albă şi că deci culoarea este ceva ce poate fi adăugat albului.

Newton a lăsat să pătrundă într-o cameră întunecoasă o rază de soare printr-o mică gaură practicată într-un oblon şi a observat spectrul produs de prisma sa pe un ecran aşezat în spatele acesteia. Ceea ce i-a stîrnit interesul a fost faptul simplu că spectrul avea o lungime de cinci ori mai mare decît lăţimea (Newton se aşteptase după cît se pare ca spectrul să fie rotund sau de o formă apropiată). Am arătat mai înainte importanţa pe care o are pentru omul de ştiinţă „aşteptarea" unui rezultat. Această experienţă ne oferă una din cele mai importante ilustrări ale acestei teze. Ce extraordinar de simplă a fost observaţia care a stîrnit curiozitatea celei mai strălucite minţi din cîte au fost pe lume! Dar aşa se întîmplă de multe ori. Lucrurile cele mai simple — cu care un om obişnuit ar considera că îşi pierde timpul dacă s-ar ocupa cu ele — pot să impresioneze mintea unui geniu.

A imaginat apoi ceea ce el a denumit *Experimentum Crucis* (experiment crucial, *N.T.*). A produs un spectru pe un ecran prevăzut cu un orificiu şi a trecut prin acest orificiu numai o parte din spectru, în drumul căreia a aşezat o altă prismă. A constatat că raza nu se mai descompunea (fig. 18). În felul acesta a demonstrat că spectrul obişnuit nu este o proprietate a prismei, ci a luminii albe. De aici a dedus că lumina albă este alcătuită dintr-un şir de culori, cu diferiţi indici de refracţie. El şi-a dovedit teza recombinînd cu ajutorul unei lentile fasciculul divergent al unui spectru

Scanned with CamScanner

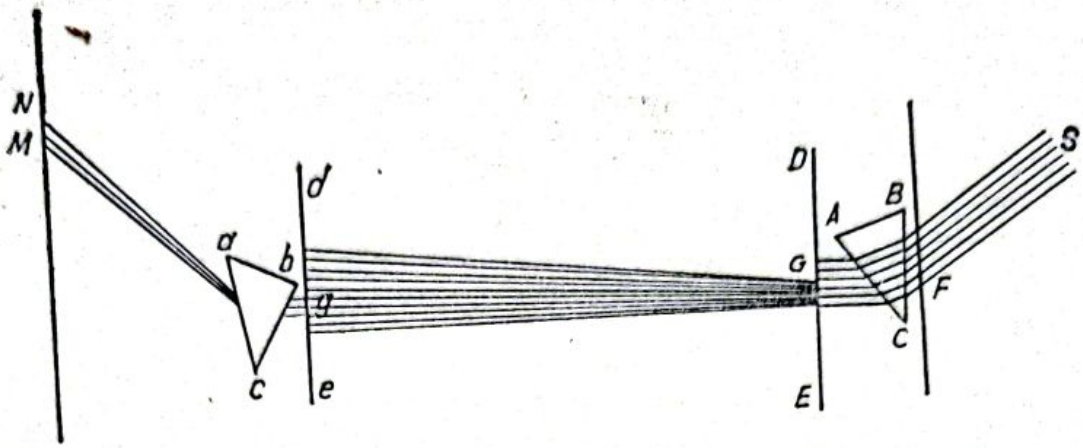


Fig. 18. Experienţa lui Newton pentru a dovedi că o culoare a spectrului nu mai este descompusă la trecerea printr-o altă prismă.

(fig. 19) şi din recombinare a rezultat lumină albă.

Newton credea că diferitele culori corespund cu diversele „stări" de reflexie şi refracţie ; dacă acestea corespundeau unei lungimi de undă, atunci a avut, firește, dreptate. El şi-a repetat experienţele privitoare la difracţie cu diferite culori ale spectrului şi a observat că interfranja corespunzătoare luminii roşii era mai mare decît în cazul lu-

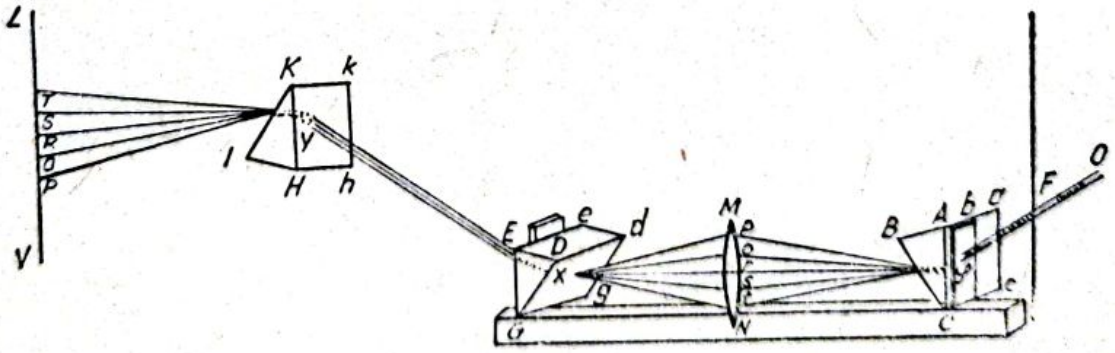


Fig. 19. Experienţa lui Newton demonstrînd că atunci cînd spectrul este recombinat se obţine lumină albă şi că această lumină poate fi din nou descompusă sub forma unui spectru.

Scanned with CamScanner

minii violete. Rezultatul l-a făcut să „presupună" (căci nu putea să emită, „ipoteze" !) că corpusculii săi provoacă vibraţii pe retină, vibraţiile cele mai scurte dînd senzaţia de violet, iar cele mai lungi — senzaţia de roşu. S-ar fi putut el oare apropia de teoria ondulatorie mai mult decît atît fără să ajungă efectiv la ea ?

Putem astfel vedea cum o ipoteză greşită — şi anume că dacă lumina este o undă ea ar trebui să se comporte asemănător sunetului — l-a condus pe Newton spre o multitudine de idei eronate, care însă se apropiau toate foarte mult de soluţia corectă. Majoritatea oamenilor de ştiinţă au trecut prin situaţii asemănătoare atunci cînd ideile lor nu se acordau între ele şi ei se vedeau nevoiţi să recurgă la ideile cele mai năstruşnice pentru a explica rezultatele obţinute. Într-o asemenea situaţie este, poate, potrivit să ne întrebăm : „De care premise sîntem mai siguri ?" Este aproape cert că una dintre ele este greşită.

Mai există o proprietate a luminii care a fost stabilită la sfîrşitul secolului al XVII-lea, şi anume viteza ei. Pînă atunci nu exista certitudinea că lumina are o viteză măsurabilă. Galilei a încercat să o măsoare printr-o experienţă bine gîndită, dar care a rămas fără rezultat. El şi un servitor al său s-au aşezat la o mare distanţă unul de altul, fiecare cu o lanternă, dar rezultatul nu era concludent şi Galilei a fost nevoit să conchidă că viteza este prea mare pentru a putea fi măsurată pe această cale. Reacţiile omului sînt prea lente şi, după cum ştim azi, intervalul de timp era mult prea mic pentru a putea fi măsurat cu mijloacele rudimentare existente pe vremea lui Galilei.

Scanned with CamScanner

Descartes nu avea modestia lui Galilei ; sigur de sine, el a afirmat că viteza luminii este infinită. „Dovada" lui se baza pe un procedeu fizic corect : să ne imaginăm ce am observa dacă viteza ar fi relativ mică, iar apoi să vedem dacă în realitate observăm ceva cît de cît similar. Dar felul în care a aplicat acest procedeu pare să fi fost total greşit. S-a gîndit ce anume ar trebui noi să observăm în timpul unei eclipse de Soare dacă luminii i-ar trebui, să zicem, o oră pentru a ajunge de la Lună la Pămînt. În acest caz, a spus el, ar trebui să nu vedem umbra Lunii pe Pămînt atunci cînd ea este în linie cu Soarele, căci înainte ca umbra să ajungă la noi Luna s-ar fi deplasat cu distanţa pe care o parcurge într-o oră. Argumentul este greşit din două motive : în primul rînd, deoarece nu putem cunoaşte poziţia Soarelui decît *văzîndu-l,* nu avem mijlocul să ştim unde se află decît prin lumina pe care o emite şi, în consecinţă, Soarele, marginea Lunii şi umbra pe Pămînt vor *apărea* ca fiind în linie dreaptă, oricare ar fi viteza luminii ; în al doilea rînd, deşi Descartes a avut în vedere o distanţă mult mai mare decît Galilei, el nu putea în nici un caz să afirme că viteza este infinită, ci numai că depăşeşte o anumită mărime. Dar modul de a raţiona la care ne-am referit îi era străin lui Descartes, care nu era un experimentator în adevăratul înţeles al cuvîntului.

Prima demonstraţie concludentă că viteza luminii este o mărime finită a fost obţinută în 1675 de Roemer (1644—1710), care a observat o aparentă nepotrivire în apariţia eclipselor sateliţilor lui Jupiter. Galilei descoperise că Jupiter are patru sateliţi (acum sînt cunoscuţi încă opt) care se

Scanned with CamScanner

mişcă în planul de revoluţie a planetei în jurul Soarelui. Dat fiind că planeta are o umbră gigantică, fiecare satelit trebuie să intre în eclipsă în mod regulat la fiecare revoluţie. Sateliţii şi planeta însăşi sînt, firește, vizibili, deoarece reflectă lumina Soarelui.

Eclipsele sînt observate în diferite anotimpuri ale anului, potrivit poziţiei Pămîntului şi a lui Jupiter unul faţă de altul. S-a constatat că intervalul dintre eclipse avea valori minime şi maxime la distanţe de aproximativ şase luni. Diferenţa era absolut evidentă — de circa 30 de secunde —, iar eclipsele au loc destul de frecvent (la fiecare 42 3/4 ore), pentru ca variaţia treptată să fie clar observată. Ce legătură poate exista între perioada *noastră* de rotaţie şi neregularităţile din mişcarea sateliţilor unei planete îndepărtate ?

Roemer a intuit că explicaţia rezidă în viteza luminii. Între două eclipse Pămîntul se deplasase cu aproape trei milioane de mile [1] ; cele 15 secunde — variaţia maximă de la medie— trebuie să reprezinte timpul necesar luminii pentru a parcurge această distanţă şi de aceea viteza luminii trebuie să fie ceva mai mică decît 200 000 de mile [2] pe secundă. A fost prima determinare a ceea ce noi ştim acum că este una din cele mai importante constante fizice.

Enunţat astfel, rezultatul obţinut de Roemer pare destul de prozaic ; el nu a observat decît o variaţie pe care oricine ar fi putut s-o observe. În realitate, perspicacitatea de care a dat dovadă în efectuarea observaţiei a fost remarcabilă, deoarece un şir de

[1] 3 000 000 mile = 4 827 000 km (*N.T.*).
[2] 200 000 mile = 321 800 km (*N.T.*).

Scanned with CamScanner

factori concură în a ascunde variaţia amintită. În primul rînd, Jupiter nu poate fi observat în tot cursul anului, aflîndu-se cel puţin timp de două luni prea aproape de Soare. În al doilea rînd, observaţia nu poate fi, bineînţeles, făcută dacă eclipsa are loc ziua. În al treilea rînd, dat fiind că Jupiter este atît de departe de Pămînt, umbra lui este îndreptată în sens opus Pămîntului şi de aceea este puţin probabil să putem vedea atît începutul cît şi sfîrşitul vreuneia dintre eclipse. În sfîrşit, satelitul fiind destul de mare — are aproape jumătate din diametrul Pămîntului — momentul începutului eclipsei nu poate fi determinat cu o precizie desăvîrşită ; nici începutul şi nici sfîrşitul ei nu pot fi măsurate decît cu o aproximaţie de cîteva secunde.

Pentru a încerca să-mi dau seama de dificultăţile de care s-a lovit Roemer ca să ajungă la deducţia sa, am analizat tabelul cu timpii de eclipse ai satelitului, aşa cum au fost publicaţi pe anul 1956 în „Nautical Almanac". Aceste date fiind rezultatul calculelor, sînt bineînţeles mult mai exacte decît cele ale lui Roemer şi cuprind toate eclipsele, nu numai cele care au loc noaptea. Valorile sînt date cu o precizie de 0,1′. Dacă Roemer ar fi dispus de date atît de precise, rezultatul la care a ajuns ar fi fost probabil mai repede acceptat, în loc să fie primit de contemporanii săi cu neîncredere şi chiar ridiculizat. Şi totuşi, cînd Newton a scris *Opticks,* el nu a ezitat să afirme că Roemer găsise viteza luminii. Chiar dacă raţionamentul lui Descartes ar fi fost corect, el ar fi avut de-a face cu variaţii de circa o secundă, iar nu de o oră. Verificarea rezultatului cu mijloace terestre părea însă o imposibilitate. Chiar dacă s-ar fi lucrat cu distanţe de cîţiva kilometri,

Scanned with CamScanner

ar fi trebuit să fie măsurați timpi de ordinul milionimii de secundă — și în secolele al XVII-lea și al XVIII-lea nu exista nici un aparat care ar fi putut să facă măsurători cu o asemenea precizie. Treptat însă, pe măsură ce știința ne-a permis să dominăm tot mai mult materia, iar tehnica ne-a pus la dispoziție mai multe instrumente științifice, posibilitatea unor măsurători terestre s-a apropiat de domeniul realizabilului. Primii care — în jurul anului 1850 — au făcut măsurători au fost Fizeau (1819—1896) și Foucault (1819—1868). Amîndoi au folosit rotații extrem de rapide, devenite realizabile odată cu apariția aliajelor dure care suportau o rotație suficient de rapidă fără a se sparge sub acțiunea unor forțe interne imense.

Aparatul lui Fizeau folosea o roată dințată care întrerupea un foarte subțire fascicul de lumină, înainte și după reflexia sa pe o oglindă depărtată. Aparatul lui Foucault folosea rotirea unei oglinzi. Dacă oglinda se rotea cu un unghi apreciabil în timpul necesar pentru traiectul tur-retur la oglinda situată la distanță, deplasarea imaginii sursei putea fi detectată. Cele două măsurători au coincis destul de bine cu valoarea dată de Roemer, dar pe cînd aparatul lui Fizeau necesita distanțe de cîțiva kilometri, cel al lui Foucault putea fi folosit și cu o distanță de numai 20 de metri, fiind deci mult mai practic. Foucault a putut să măsoare viteza luminii în apă și a constatat că este mai mică decît în aer — o înfrîngere definitivă pentru partizanii teoriei corpusculare a luminii.

Așadar în 1850 multe din proprietățile fundamentale ale luminii erau cunoscute ; ea este o mișcare ondulatorie cu o foarte mică lungime de undă,

Scanned with CamScanner

de ordinul a 5×10^{-5} cm ; este o vibraţie transversală şi nu necesită pentru propagarea ei un mediu material. Viteza ei este de circa 3×10^{10} cm s^{-1}. Dar tot nu se ştia ce este lumina. Răspunsul integral a fost obţinut prin măsurători efectuate în domenii complet diferite şi a constituit unul dintre cele mai interesante episoade ale fizicii. Îl voi descrie într-un capitol următor.

Influenţa pe care o ramură a fizicii o exercită asupra altei ramuri constituie o permanentă preocupare pentru fizicieni şi merită să încheiem capitolul de faţă descriind o descoperire care a avut o imensă înrîurire asupra dezvoltării fizicii şi totodată s-a dovedit a fi de o mare utilitate practică. Este vorba de descoperirea spectrului de linii.

Am văzut cum Newton a cercetat spectrul unui corp incandescent — Soarele. Toate corpurile incandescente solide dau un spectru continuu similar, dar se ştie că anumite materiale cînd sînt încălzite la o flacără pot face ca flacăra să capete culori caracteristice numai pentru o parte din spectru. Cînd un ciocan de lipit (confecţionat, fireşte, din cupru) este încălzit la o flacără de gaz, flacăra devine verde. Este clar că spectrul luminii emanate de o flacără nu poate avea un aspect atît de simplu ca lumina albă.

Prima consemnare privind observaţia unui spectru discontinuu este aceea a lui Wollaston (1766—1828), făcută în 1802. El a văzut o rază de soare trecînd prin micile crăpături ale storului coborît peste fereastră şi şi-a dat seama că dacă ar folosi drept sursă o asemenea fantă ar putea obţine un spectru mai pur decît cel obţinut de Newton, care folosea în acest scop un orificiu circular. A observat

Scanned with CamScanner

în spectrul razelor solare linii negre, fiind astfel primul care a constatat ceea ce denumim astăzi liniile Fraunhofer.

Descoperirea emisiei spectrului de linii a fost, pe cît se pare, făcută în 1822 de Herschel (1792—1871) ; el a introdus anumite săruri metalice într-o flacără şi a observat spectrul format cu ajutorul unei prisme. Mai tîrziu, Fraunhofer (1787—1826) a observat că linia galbenă produsă de clorura de sodiu este, ca poziţie, identică cu una din liniile întunecate ale spectrului solar.

Aceste descoperiri au deschis un nou domeniu în fizică — spectroscopia. S-au adus îmbunătăţiri ale preciziei de măsurare şi s-au întocmit tabele cu spectrele de emisie a numeroase elemente. Aceste date s-au dovedit a fi de mare valoare pentru identificarea elementelor în materialele necunoscute, punîndu-se astfel baza unei noi metode de analiză chimică.

Dar efectul în sine a trezit multă nedumerire. De ce atomii emit vibraţii de o anumită lungime de undă ? Aceste vibraţii trebuie, evident, să furnizeze informaţii privind structura atomului. A mai trebuit totuşi să treacă aproape un secol pînă ce observaţiile efectuate să fie înţelese.

Scanned with CamScanner

7

Instrumente optice

Acest capitol este singurul din prezenta carte consacrat în mod special instrumentelor. Aparatura a ocupat, firește, un loc important și în alte capitole, dar nu am considerat necesar să acord o atenție deosebită aparatului calorimetric sau aparatelor magnetice și electrice. De ce facem o excepție cînd este vorba de lumină ?

Răspunsul este că aparatura optică nu a fost folosită numai pentru studiul fenomenelor luminoase ; ea și-a adus contribuția în aproape toate celelalte ramuri ale fizicii. O explicație este, firește, faptul că pînă la urmă aproape toate informațiile despre lumea exterioară trebuie să fie „prezentate“ ochiului pentru a fi transmise creierului. Dar, mai mult decît atît, aparatele optice și ideile care au stat la baza lor sînt prezente în domenii foarte diferite ale fizicii și au dat naștere unor concepții la care

Scanned with CamScanner

nimeni nu s-ar fi gîndit dacă nu ar fi existat optica. Aceste considerente justifică ele singure ca instrumentelor optice să li se consacre un capitol aparte.

Primele instrumente optice au fost desigur oglinzile şi ochelarii. Aceştia din urmă au avut şi au o deosebită importanţă, redînd o viaţă normală celor ce se află într-o situaţie de inferioritate din cauza unei deficienţe vizuale. Cîţi oameni cu minţi strălucite trebuie să fi existat în antichitate, şi totuşi cîţi dintre aceştia au fost consideraţi drept inferiori numai pentru că nu vedeau bine !

Dar primul instrument propriu-zis, în sensul că permitea omului să facă ceva ce nu putuse face pînă atunci, a fost lupa. Graţie ei omul putea vedea amănunte ce nu pot fi văzute cu ochiul liber. Este surprinzător cît de mulţi oameni — inclusiv oameni de ştiinţă — nu ştiu să folosească o lupă în mod corect : o ţin la o asemenea distanţă de obiectul observat încît să obţină o imagine mare. Dar în acest caz, cîmpul este foarte limitat. O metodă mult mai bună este aceea de a ţine lupa cît mai aproape de ochi şi de a apropia treptat obiectul pînă la obţinerea unei imagini mari şi clare.

Unele dintre primele lupe au constat pur şi simplu în picături de apă sau de miere limpede introduse într-un mic orificiu circular. Chiar şi după ce microscopul optic fusese inventat — la începutul secolului al XVII-lea — mulţi oameni de ştiinţă preferau o lentilă simplă, pentru că un grosisment mai mic evita distorsiunile produse de ansamblul mai multor lentile. Aşa cum s-a arătat, una din descoperirile fundamentale în fizică — mişcarea browniană — a fost făcută cu ajutorul unei lentile simple ;

Scanned with CamScanner

acest eveniment a avut loc la mai bine de 200 de ani de la inventarea microscopului optic.

Telescopul a fost inventat oarecum concomitent cu microscopul (1608). Un optician olandez, pe nume Lippershey, avea un ucenic care, jucîndu-se la întîmplare cu niște lentile, a descoperit că dacă pune în linie două din ele poate obține o imagine mărită a unui obiect depărtat. Ce-i drept, imaginea nu era prea mare, dar descoperirea a făcut senzație, iar vestea s-a răspîndit în întreaga Europă. De ea a auzit și Galilei, care — bun cunoscător al legilor opticii — descoperise el însuși o combinație eficientă de lentile (fig. 20). Aparatul realizat de el este și astăzi cunoscut sub denumirea de telescopul lui Galilei. Acest aparat are un cîmp vizual redus, dar cu ajutorul său Galilei a deschis noi posibilități în astronomie. Despre descoperirile lui Galilei și despre consecințele acestora s-au scris numeroase cărți și nu este cazul să le mai amintim aici, deoarece în această lucrare ne-am propus să ne ocupăm numai de experiențele propriu-zise.

Trebuie totuși să menționăm că deși progresele realizate în astronomie după introducerea telescopului ni se par acum evidente, lucrurile nu stăteau la fel pe vremea lui Galilei. Pînă atunci, toate observațiile fuseseră efectuate cu tuburi de vizare foarte lungi și se ajunsese la o mare măiestrie în folosirea lor. Se făceau observații și din edificii special construite. La Delhi mai există și azi ca piesă de muzeu un observator din secolul al XVII-lea. Nu trebuie să uităm că legile privind mișcarea planetelor, enunțate de Kepler, s-au bizuit pe observațiile efectuate de Tycho Brahé fără folosirea vreunui telescop.

Scanned with CamScanner

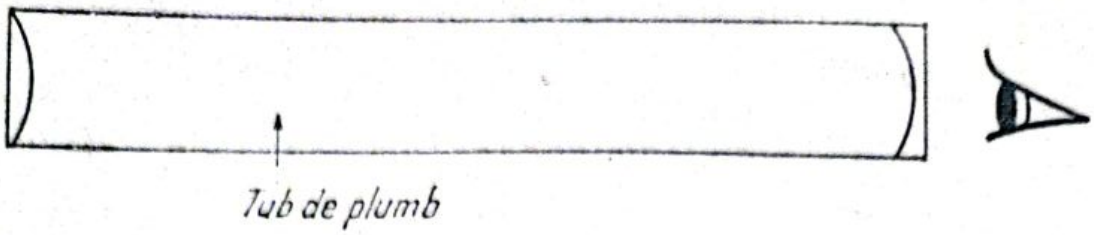


Fig. 20. Principiul telescopului lui Galileu.

Introducerea dispozitivului „de modă nouă" a întîmpinat oarecare rezistenţă. Astronomii obţineau rezultate bune cu instrumentele ce le erau familiare şi pe care le puteau înţelege. De ce să le schimbe pe un instrument mai complicat, a cărui claritate era uneori redusă şi ale cărui baze teoretice erau destul de neclare ?

Nu era foarte posibil ca unele din amănuntele observate cu noul instrument să nu fie în realitate decît iluzii produse de aparatul însuşi ?

Dar dacă o invenţie este valoroasă, ea va supravieţui în ciuda opoziţiei iniţiale, cu condiţia ca inventatorul să aibă suficientă încredere în sine pentru a-şi înfrunta adversarii.

Aşa s-a întîmplat şi cu telescoapele. Cîteva decenii mai tîrziu, telescoapele au fost acceptate, iar în 1668 însuşi Newton le-a adus o serioasă ameliorare, creînd telescopul cu reflexie (fig. 21). El a crezut că descoperise singura rezolvare posibilă a problemei defectelor de culoare produse de lentilele telescopului obişnuit — ceea ce azi denumim aberaţie cromatică — şi a ajuns la concluzia că întrucît comportarea luminii reflectate nu depinde de culoare, o oglindă sferică ar constitui un obiectiv mai bun decît o lentilă. A avut numai în parte dreptate, deoarece în prezent pot fi realizate combinaţii de lentile acromatice, dar toate marile telescoape se

Scanned with CamScanner

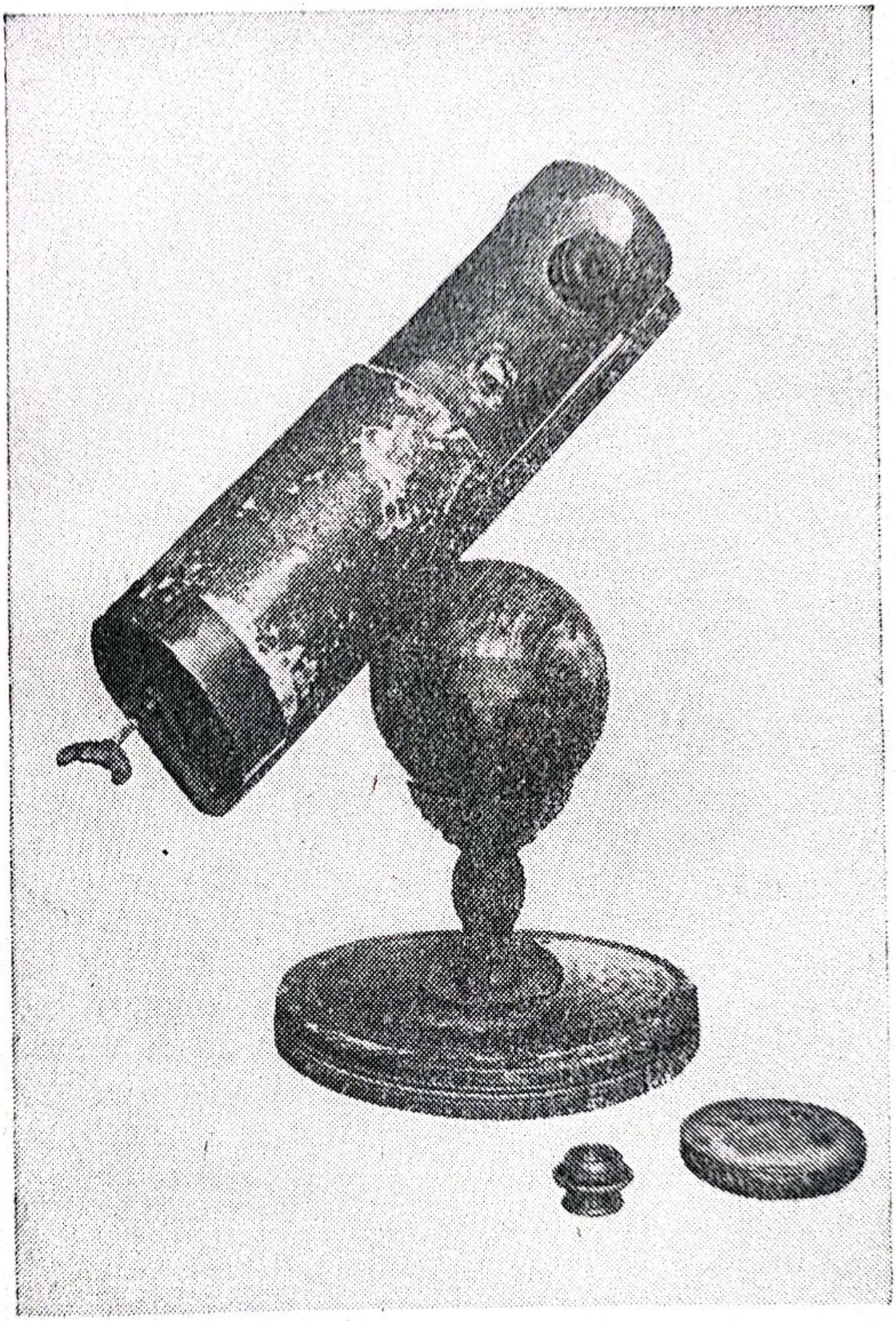


Fig. 21. Telescopul lui Newton.

Scanned with CamScanner

bizuie pe ideea lui Newton. Telescopul lui personal mai există şi azi şi este cel mai celebru instrument ştiinţific existent.

Istoria microscopului nu este atît de clară ca aceea a telescopului. Nu este exclus ca atunci cînd Galilei a născocit telescopul el să se fi gîndit şi la problema de a mări obiecte apropiate şi, cum ştia mai mult despre optică decît oricare altul, este probabil că ar fi ajuns curînd să conceapă microscopul. Acest lucru ne arată importanţa cunoştinţelor fundamentale. Telescopul a putut fi descoperit printr-o întîmplare, dar înţelegerea principiilor lui a dus la extinderea ideii asupra altor domenii.

Cel mai de seamă exponent al microscopiei a fost Hooke (1635—1703), un strălucit experimentator, care a avut un rol important în menţinerea în viaţă a Societăţii Regale (să nu uităm că scopul ei era efectuarea de experienţe) în prima ei perioadă de existenţă. El şi-a construit un microscop şi a fost atît de încîntat de el încît în 1665 a scris despre observaţiile sale o carte întreagă, *Micrographia,* ilustrînd-o cu schiţe făcute de el, dintre care una este arătată în figura 22. Un desen al microscopului său este prezentat în figura 23. Tubul era lung de 6 sau 7 inch (15—18 cm), iar obiectivul putea fi reglat cu ajutorul unui şurub. Obiectul era fixat cu ajutorul unui ac. În mod normal era folosită lumina zilei, dar în timpul nopţii se folosea dispozitivul arătat în figură.

Începînd din secolul al XVII-lea, instrumentele optice progresează fără încetare. Îmbunătăţiri constructive şi în special cele privind tipul lentilelor au făcut microscoapele de mai tîrziu incomparabil mai bune decît primele exemplare. Mai ales Ger-

Scanned with CamScanner

mania, sub influenţa unor oameni ca Fraunhofer şi Abbe (1840—1905), a adus o mare contribuţie la tehnologia sticlei şi a confecţionării lentilelor. Se poate afirma pe drept cuvînt că industria optică datorează teoriei mai mult decît oricare altă industrie. În privinţa industriei optice nu se poate spune — cum se afirmă adesea despre alte activităţi — că teoria nu foloseşte decît la speculaţii asupra a ceea ce omul practicii cunoaşte de mult.

Se părea că microscopul va continua să fie neîncetat ameliorat de-a lungul foarte multor ani. Dacă judecăm un instrument după limita puterii sale de rezoluţie — dată de dimensiunile celui mai mic detaliu care poate fi detectat —, atunci procesul de extrapolare ar părea să indice că nu există limită : pînă la urmă s-ar putea chiar să ajungem la o putere de rezoluţie care ar permite să distingem atomii.

Dar extrapolarea e întotdeauna periculoasă şi este ciudat că tocmai Abbe — care a jucat un rol atît de important în perfecţionarea microscopului — a fost cel care a arătat că acest instrument are o limită intrinsecă. Limita — spunea el — nu este dată de gradul de măiestrie în fabricarea microscoapelor, ci de însăşi natura ondulatorie a luminii ; nici un microscop, oricît de bun ar fi el, nu poate distinge detalii mai mici decît aproximativ jumătate din lungimea de undă a luminii. Fabricanţii de microscoape erau indignaţi ; unii dintre ei au pretins că microscoapele lor pot distinge detalii mai fine decît cele ce corespund limitei fixate de Abbe şi că deci teoria acestuia din urmă nu poate fi adevărată. Ei nu au ţinut însă seama de

Scanned with CamScanner

faptul că teoria nu afirma numai existenţa unei limite a puterii de rezoluţie, dar implica, de ase-

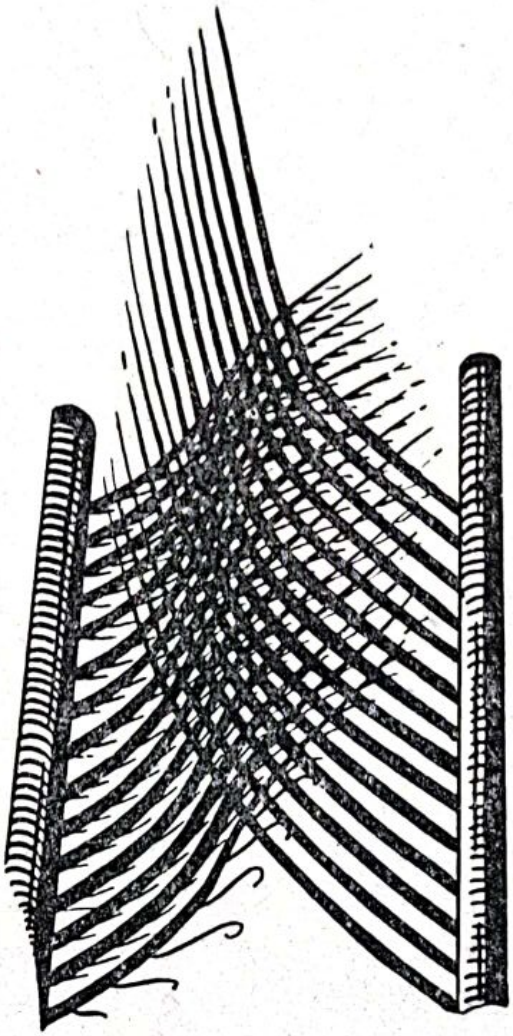


Fig. 22. O ilustraţie din lucrarea lui Hooke *Micrographia.*

menea, că orice detaliu văzut sub limita rezoluţiei trebuie considerat ca fiind îndoielnic.

Lucrarea lui Abbe era firește pur teoretică, dar ea a influenţat în asemenea măsură optica şi fizica în general, încît este necesar să spunem cîteva cuvinte despre ea. În rezumat, teoria lui Abbe enunţa că formarea imaginii are loc în două etape : în

Scanned with CamScanner

prima, lumina este împrăştiată de obiect, producînd o figură de difracţie, iar în a doua, lumina difrac-

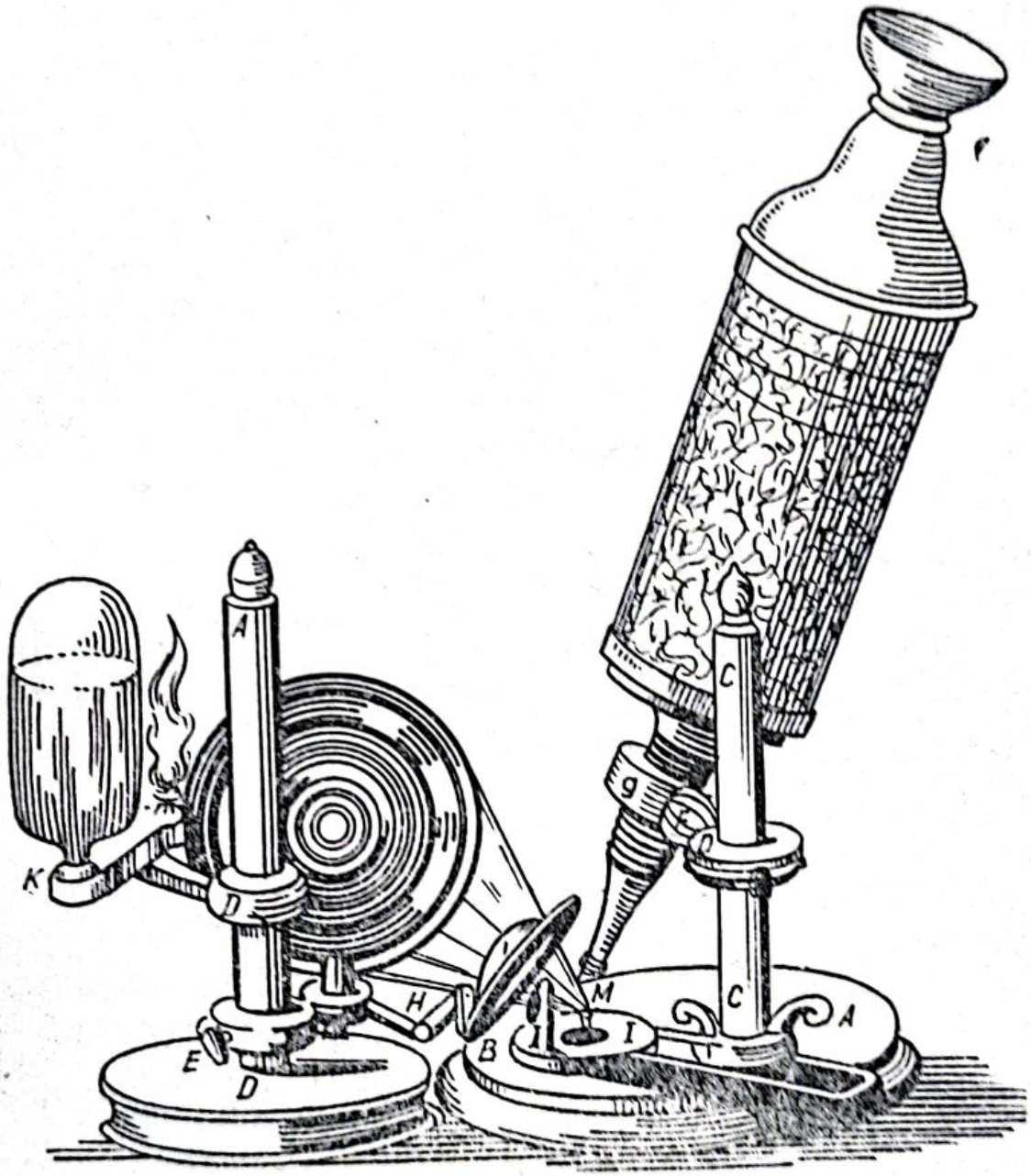


Fig. 23. Microscopul lui Hooke.

tată este din nou strînsă de instrumentul optic, aşa încît să formeze o imagine de interferenţă, care constituie imaginea propriu-zisă. Această teorie pune accentul în special pe modul de iluminare a obiectului, şi ceea ce la început nu părea a fi decît o

Scanned with CamScanner

banalitate necesară devine o parte importantă a procesului.

Dat fiind că lumina difractată este limitată de apertura obiectivului microscopului, imaginea de difracţie completă nu poate fi folosită pentru reconstrucţia imaginii, astfel încît imaginea nu va fi o reproducere fidelă a obiectului. Putem ilustra această idee luînd figura de difracţie a obiectului şi formînd o imagine cu o porţiune mai mare sau mai mică din ea (fig. 24). Pe măsură ce adăugăm ceva în plus din figura de difracţie, imaginea propriu-zisă devine mai detaliată, dar putem observa că limita de rezoluţie este determinată de fineţea franjelor produse de regiunile de la marginea figurii de difracţie. Aceasta constituie, firește, limita enunţată de Abbe. O lucrare a lui Porter în 1905 a contribuit mult la demonstrarea faptului că teoria lui Abbe este justă : Porter a format imagini cu diferite părţi dintr-o figură de difracţie şi a arătat că prezicerile lui Abbe s-au îndeplinit întocmai.

În ciuda dezamăgirii resimţite de cei ce produc microscoape, teoria lui Abbe marchează o importantă etapă în fizică ; acum ştim că dacă dorim să examinăm un obiect cu o anumită rezoluţie, trebuie să alegem în aşa fel lungimea de undă a radiaţiei încît ea să fie adecvată problemei care ne preocupă. Exemplele pentru această teză vor fi expuse în capitolele ce urmează.

În ce priveşte microscopul însuşi, Abbe a arătat că există o limită a performanţei microscopului cu lumină şi de aceea i-a prevenit pe fabricanţii de lentile să nu depună eforturi zadarnice pentru îmbunătăţirea instrumentelor. Teza lui Abbe a mai avut şi efectul pozitiv de a-i orienta pe cercetătorii

Scanned with CamScanner

care doreau detalieri mai fine pe alte căi, ceea ce a dus la folosirea radiațiilor X și a electronilor pentru cercetarea materiei la scară atomică (vezi capitolul *Radiația*).

Este important de știut că asemenea consecințe nu sînt ceva neobișnuit în fizică. O demonstrație teoretică din care rezultă că ceva nu este posibil îi poate duce pe unii la descurajare. Dar o asemenea atitudine nu este justificată, deoarece imposibilitatea demonstrată de teorie este întotdeauna urmată de eforturi depuse pentru ocolirea ei, eforturi adesea încununate de succes. Mai mult chiar, ocolirea menționată poate deschide noi căi de explorare. Și, la urma urmelor, există întotdeauna posibilitatea ca teoria să fie eronată.

Dezvoltarea telescopului a fost mult mai puțin interesantă decît a microscopului. În fond, Newton a spus tot ce se putea spune despre construcția telescoapelor, elementul esențial fiind o oglindă bună. Unicul progres real constă deci în realizarea de oglinzi cît mai mari și de o calitate corespunzătoare, ceea ce se reduce, de fapt, la precizia cu care poate fi șlefuită o suprafață parabolică. Erorile trebuie să fie mai mici decît lungimea de undă a luminii ; $\frac{\lambda}{10}$ este gradul de precizie uzual, dar uneori se cere chiar $\frac{\lambda}{50}$. Dar chiar și cel mai mare telescop — cel de 200 inch din Statele Unite — nu este în esență diferit de telescopul de 6 inch al lui Newton.

Introducerea telescopului i-a sugerat lui Fraunhofer o idee care l-a ajutat în cercetările lui. Pe

Scanned with CamScanner

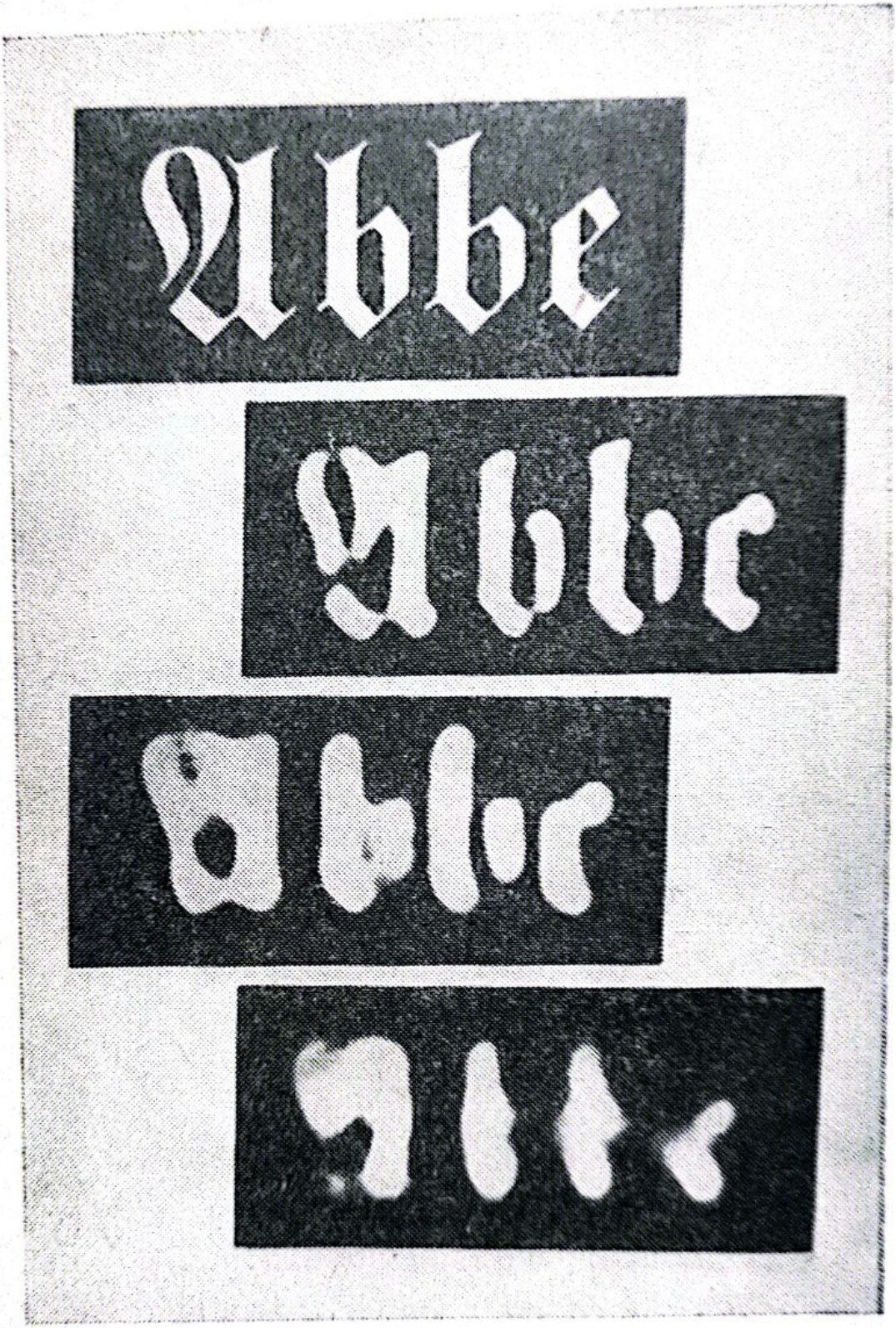
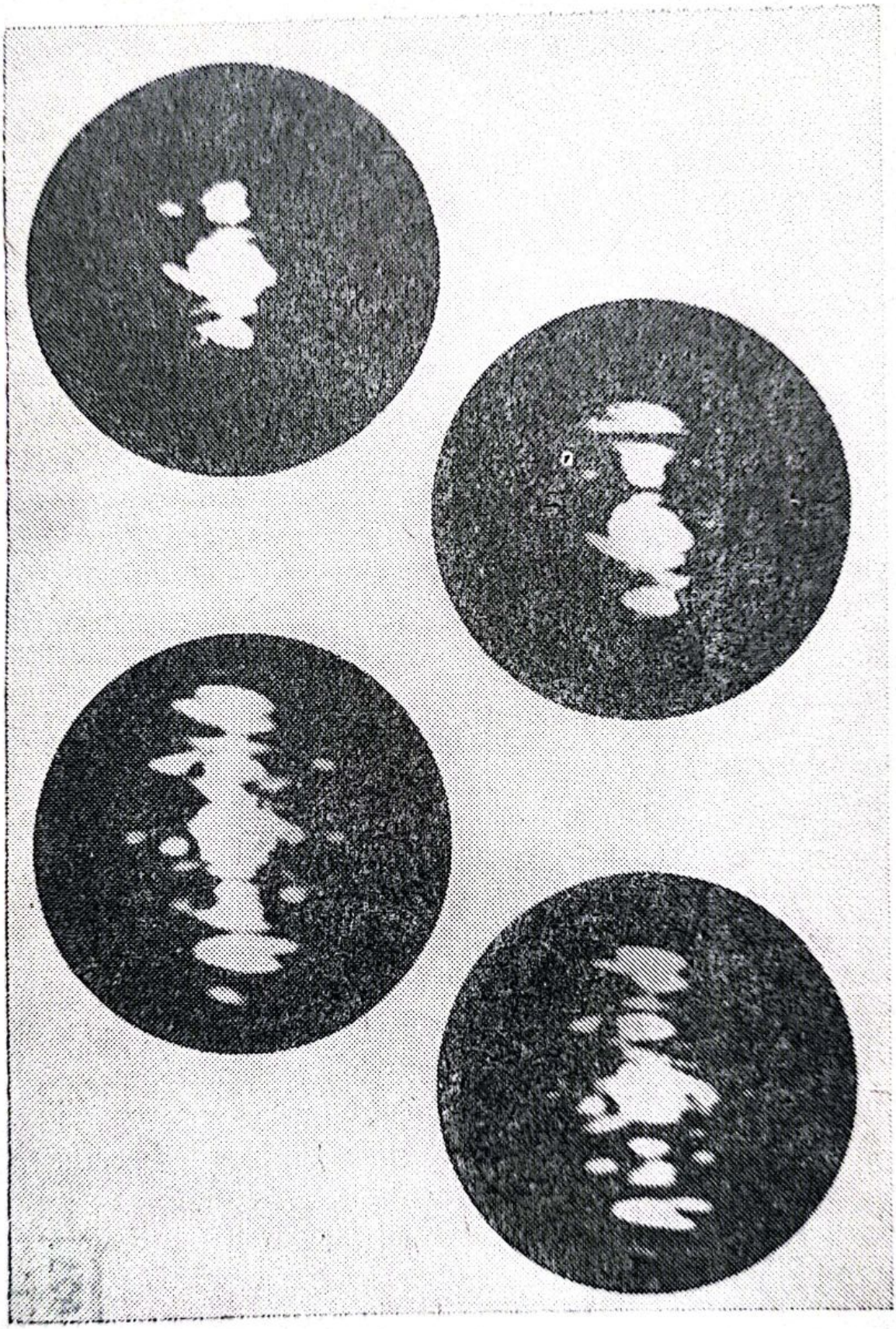


Fig. 24. Ilustrarea teoriei lui Abbe asupra formării imagi-
site cantități tot mai reduse

Scanned with CamScanner



nii : imaginea pierde din amănunte pe măsură ce sînt folo-
de radiații difractate.

Scanned with CamScanner

Fraunhofer îl interesa problema sticlei, în special măsurarea puterii dispersive a acesteia. Măsurătorile lui Newton fuseseră foarte aproximative, deoarece folosise o sursă de lumină cu un orificiu circular (p. 102) ; ideea lui Wollaston de a folosi o fantă (p. 109) a constituit o perfecţionare importantă, Fraunhofer a mers mai departe şi şi-a dat seama că dacă ar putea fi folosită imaginea focalizată a unei fante s-ar putea obţine o precizie şi mai mare. Pentru a obţine o asemenea imagine nu este, bineînţeles, necesară decît o singură lentilă, dar în cazul iluminării prismei cu un fascicul divergent radiaţiile dispersate, de o anumită culoare, nu vor ieşi din prismă pe aceeaşi direcţie ; de aceea a construit un instrument în care prisma este aşezată într-un fascicul de raze paralele (fig. 25). A fost primul spectrometru. Acest instrument este unul din cele mai importante din fizică. El a sporit precizia în studiul sticlei, devenind astfel posibilă confecţionarea componentelor optice de mai bună calitate ; a creat mijlocul de a cerceta în detaliu spectrele elementelor şi a contribuit în felul acesta la dezvoltarea analizei spectrale ; ne-a oferit o metodă de identificare a luminii provenite de la stele, punînd deci bazele astrofizicii ; instrumentul i-a prilejuit lui Fraunhofer posibilitatea de-a realiza progrese şi în alte direcţii.

Cea mai importantă dintre aceste direcţii a constituit-o descoperirea reţelei de difracţie. Se presupune că ea a fost făcută oarecum din întîmplare, după cum reiese din relatarea ce urmează. Uneori putem să ne dăm seama că avem de-a face cu un om mare după felul cum ştie să valorifice întîmplările ce i se ivesc în cale.

Scanned with CamScanner

Fraunhofer şi-a dat seama că folosindu-se de spectrometru ar putea îmbunătăţi studiul difracţiei. Imaginea de difracţie a obiectelor în lumină paralelă — noi o denumim azi „imaginea“ de difracţie Fraunhofer — se potriveşte mult mai bine cu teoria decît imaginea lui Fresnel (p. 95) şi deci verificarea micilor detalii este mult mai con-

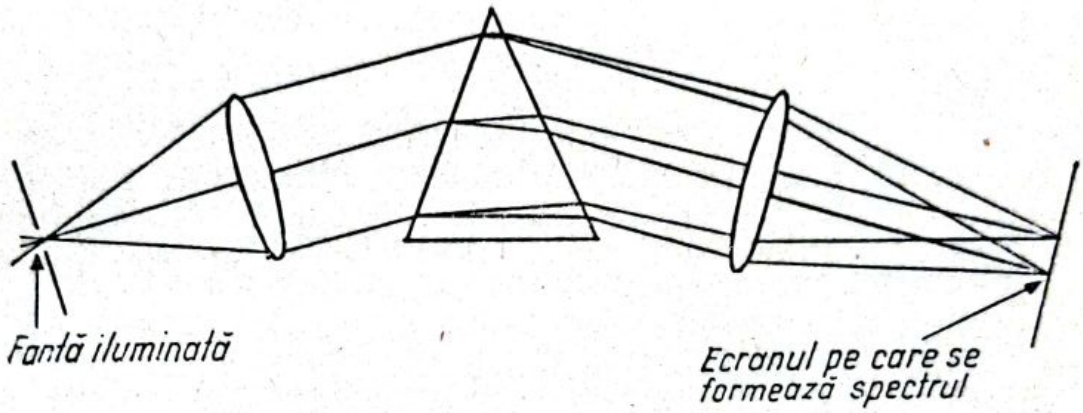


Fig. 25. Principiul spectrometrului.

vingătoare. Imaginea de difracţie a unei fante poate fi lesne observată cu orice spectrometru obişnuit, dar pe vremea lui Fraunhofer, cu relativ slabele surse de lumină existente, aceste imagini erau destul de palide. Pentru a mări intensitatea luminoasă, Fraunhofer a folosit cîteva fante paralele şi de aceea le-a introdus în fasciculul paralel al spectrometrului său. Pentru mai multă comoditate el le-a făcut echidistante. Spre surprinderea sa, a observat şi alte imagini de difracţie. Confecţionase de fapt prima reţea de difracţie.

El a fost imediat conştient de importanţa descoperirii sale şi a căutat să o dezvolte. A confecţionat reţele înfăşurînd o sîrmă peste două şuruburi paralele ; procedeul său este şi astăzi unul din cele

Scanned with CamScanner

mai bune pentru pregătirea reţelelor de difracţie. Pentru lucrări de precizie sînt însă necesare reţele cu un mare număr de linii, nu neapărat pentru a obţine o rezoluţie foarte bună, căci rezoluţia nu depinde decît de lungimea reţelei, ci pentru o mare separare unghiulară a spectrelor. Unii oameni — Rowland (1848—1901) de pildă — şi-au consacrat aproape întreaga viaţă pentru a îmbunătăţi aparatura de producere a reţelelor de difracţie şi au realizat reţele de o excelentă precizie. Se poate afirma fără teama de a greşi că măsurătorile efectuate cu reţele de difracţie sînt cele mai precise din fizică.

În producerea spectrelor, reţeaua de difracţie este în aproape toate privinţele superioară prismei. În primul rînd, pentru că pentru o reţea cu constanta d cunoscută, lungimea de undă λ a oricărei linii spectrale poate fi măsurată cu ajutorul ecuaţiei :

$$n\lambda = d \sin \Theta,$$

unde n este ordinul spectrului, iar Θ unghiul de deviaţie pentru incidenţa normală ; în cazul prismei nu există decît o relaţie empirică între lungimea de undă şi deviaţie, iar această relaţie diferă pentru diversele feluri de sticlă. În al doilea rînd, variaţia lui Θ cu λ este cu mult mai mare pentru o reţea decît pentru o prismă. În al treilea rînd, dacă se foloseşte o reţea de difracţie prin reflexie — să zicem o oglindă metalică cu linii fine trasate pe ea —, pot fi făcute măsurători ale unor lungimi de undă care ar fi complet absorbite de o prismă, cu excepţia cazului în care aceasta este confecţionată dintr-un material anume ales. Sin-

Scanned with CamScanner

gurul avantaj pe care-l prezintă prisma constă în faptul că produce o mai mare intensitate, dat fiind că *toată* lumina este folosită pentru producerea spectrului. În prezent însă, chiar şi acest avantaj este parţial compensat prin folosirea unor reţele de mare luminozitate care concentrează majoritatea luminii difractate într-un anumit ordin de difracţie.

Deoarece, aşa cum vom vedea mai jos, studiul spectrelor a avut o importanţă uriaşă pentru înţelegerea structurii materiei, aş susţine chiar că reţeaua de difracţie trebuie considerată drept cea mai importantă invenţie făcută vreodată de un fizician. Microscopul se apropie de ea sub raportul importanţei, dar reţeaua de difracţie ne introduce în domenii mult mai tainice decît microscopul.

Deşi experienţa lui Young (p. 97) a fost extrem de importantă pentru susţinerea teoriei ondulatorii a luminii, ea era în mod vădit prea rudimentară pentru a avea o valoare cantitativă remarcabilă. Dar faptul că a putut lucra cu distanţe de ordinul a 10^{-6} cm a deschis o nouă posibilitate fundamentală ; dacă franjele de interferenţă ar putea fi făcute mai nete, ar putea creşte şi precizia măsurătorii. Şi cine ştie ce noi fenomene ar putea fi observate ? Pentru ca franjele să devină mai nete, condiţiile de intensificare a undelor trebuie să fie mai riguroase, iar acest lucru este posibil dacă sînt folosite mai mult de două fante. Acesta este, firește, tocmai principiul reţelei de difracţie.

O altă cale prin care numărul de unde care interferează poate fi sporit este folosirea reflexiei multiple. Dacă cineva se află într-o odaie cu oglinzi

Scanned with CamScanner

aşezate pe pereţi opuşi, el poate vedea un lung şir de reflexii ale unei lămpi din interiorul odăii respective. Realizînd un asemenea dispozitiv la o scară mult mai redusă, poate fi obţinută o precizie considerabilă cu mijloace foarte simple.

Cel mai important dintre aceste dispozitive este cel realizat de Fabry (1867—1945) şi Pérot (1863—1925). El constă pur şi simplu din două plăci plane din punct de vedere optic, argintate pe feţele lor interioare, astfel încît să reflecte aproximativ 95% din lumina care cade asupra lor. Ele sînt montate rigid, aşa încît să fie riguros paralele (fig. 26). Cu cît coeficientul de reflexie este mai mare, cu atît vor fi mai clar conturate franjele de interferenţă, dar în acelaşi timp ele vor fi şi mai slabe. Evident, dacă coeficientul de reflexie ar fi egal cu 1, nu s-ar mai observa nimic.

Distanţa dintre plăci (sau, cum li se mai spune, etaloanele Fabry-Pérot) este de ordinul milimetrilor. La o asemenea distanţă pot fi observate — ca şi în cazul unei reţele nu prea fine (p. 126) — mai multe ordine de interferenţă, dar, oricît de mare ar fi precizia, cu un amestec de multe spectre suprapuse ea nu va aduce prea multe date informative. O combinaţie cu o reţea de difracţie poate da însă rezultate foarte importante. O linie dintr-un spectru poate fi apoi analizată cu un etalon Fabry-Pérot şi această linie se poate dovedi a avea o structură fină. Aşa, de pildă, linia *D* a sodiului, găsită de Fraunhofer, apare ca simplă în majoritatea spectrometrelor cu reţea, dar grupul de franje produs de un etalon Fabry-Pérot este mai complicat decît dacă ar fi produs de o singură linie şi nu

Scanned with CamScanner

poate fi explicat decît dacă admitem că ne aflăm în faţa a două lungimi de undă. Alte exemple foarte importante de folosire a acestei remarcabile combinaţii vor fi prezentate în capitolul următor.

Deşi spectrometria de înaltă rezoluţie a fost mult ajutată de aşa-numita interferometrie cu fascicul multiplu — pentru care etalonul Fabry-Pérot nu este decît un exemplu —, interferenţa cu fas-

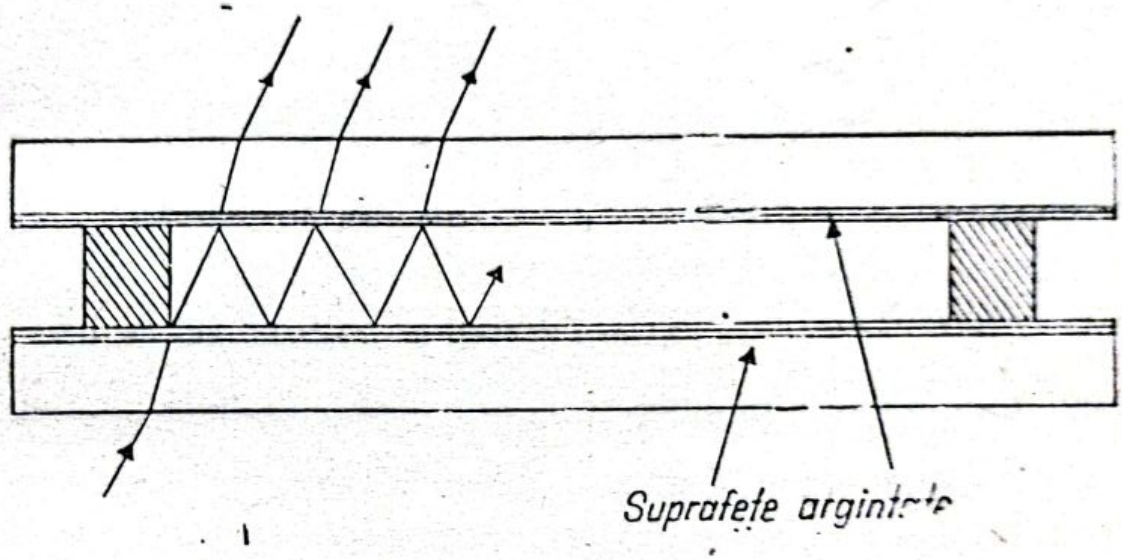


Fig. 26. Principiul interferometrului Fabry-Pérot.

ciculul dublu şi-a păstrat importanţa. Cu ajutorul ei suprafeţele pot fi examinate cu o precizie mult mai mare decît cu ajutorul unor mijloace mecanice. Dacă franjele sînt obţinute între o suprafaţă despre care se ştie că e plană şi alta presupusă a fi plană, defecte de ordinul a 10^{-5} cm pot fi rapid detectate. Suprafeţele care satisfac această condiţie optică de planeitate sînt denumite „optic plane".

Fizicienii au sesizat repede importanţa acestei uşurinţe de măsurare — în fond măsurarea unor

Scanned with CamScanner

mici diferenţe ale drumului optic. În decursul secolului al XIX-lea au fost realizate numeroase dispozitive deosebit de ingenioase. Cu ajutorul lor a putut fi măsurat indicele de refracţie al aerului sau au putut fi stabilite erorile unor componente ale dispozitivelor optice. Aceste dispozitive au fost denumite interferometre şi unul dintre ele — interferometrul lui Michelson — s-a dovedit a fi atît de important în fizică, încît merită să fie descris în amănunţime.

Michelson (1852—1931) poate fi considerat geniul suprem în arta manipulărilor optice ; ca tînăr student a izbutit să efectueze experienţe care au pus la grea încercare mijloacele — atît intelectuale cît şi financiare — ale superiorilor săi. El a imaginat un interferometru stelar pentru măsurarea diametrului unghiular al stelelor. Dar experienţa sa cea mai de seamă — efectuată împreună cu colegul său Morley (1838—1925) — a fost încercarea de a determina viteza absolută cu care se deplasează Pămîntul în spaţiul cosmic. Ideea lor consta în a măsura diferenţa de viteză a luminii în două direcţii perpendiculare, în speranţa că ar putea astfel identifica direcţia de mişcare a Pămîntului.

La prima vedere, încercarea părea fără speranţe. Interferometrul lui Michelson nu poate lucra decît cu un dublu drum al luminii, ceea ce importă fiind deci viteza medie (dus şi întors). Dar aşa cum o arată azi toate manualele de optică, viteza medie a unui corp care se deplasează în susul şi în josul unui curent de fluid este aproape aceeaşi cu viteza de deplasare transversală dus-în-

Scanned with CamScanner

tors. Diferența este o mărime de ordinul doi [1], v^2/c^2, unde v este viteza fluidului și c aceea a corpului. În experiența lui Michelson-Morley „corpul" este un tren de unde luminoase, iar fluidul este eterul în care se mișcă Pămîntul. Viteza eterului nu părea să fie mai mare decît o miime din viteza luminii — viteza orbitală a Pămîntului fiind de 10^{-4} din viteza de propagare a luminii — așa încît Michelson și Morley au încercat să măsoare diferențe de ordinul unei milionimi.

Să aruncăm o privire asupra instrumentului lor de bază — interferometrul lui Michelson. Acest interferometru folosește o oglindă argintată, semitransparentă, care reflectă tot atîta lumină cîtă transmite. În felul acesta (fig. 27) este posibil să îndreptăm părți din același fascicul în două direcții perpendiculare. Cele două părți ale fasciculului sînt trimise înapoi de-a lungul drumurilor lor cu ajutorul a două oglinzi, făcîndu-le să interfereze prin folosirea aceleiași proprietăți de semireflexie a oglinzii centrale. Cele două drumuri optice pot fi comparate, iar dacă unul din ele diferă cu o jumătate de lungime de undă, imaginea de interferență diferă cu o franjă. În felul acesta Michelson și Benoît au măsurat în 1894 numărul franjelor pentru o distanță precis cunoscută și au definit această lungime de undă în raport cu metrul.

Adesea modul cum se produc franjele în interferometrul Michelson nu este clar explicat. Dacă

---

[1] „Ordinul doi" este denumirea dată pătratului unei mărimi mici; pătratul este mult mai mic decît mărimea însăși. De exemplu, pătratul lui 0,01 este 0,0001.

Scanned with CamScanner

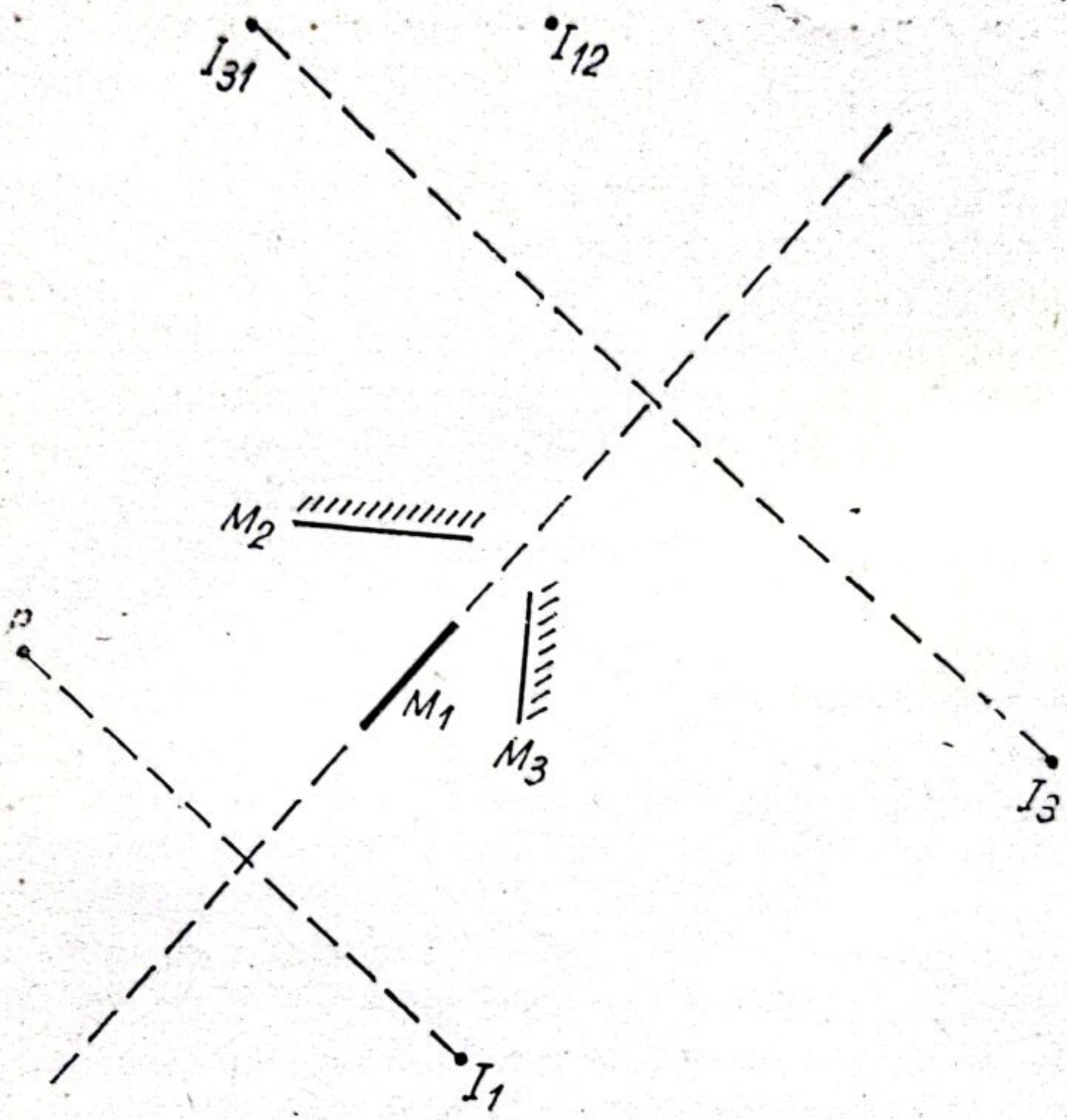


Fig. 27. Principiul interferometrului lui Michelson. M_1 este o placă semireflectantă, iar M_2 şi M_3 sînt oglinzi. P este un punct al unei surse nepunctiforme de lumină. I_1 este imaginea lui P în M_1 şi I_{12} este imaginea lui I_1 în M_2; I_3 este imaginea lui P în M_3 şi I_{31} este imaginea lui I_3 în M_1. I_{31} şi I_{12} îndeplinesc funcţia de surse coerente şi pot deci produce franje Young. Variind uşor poziţia lui M_3, I_{31} şi I_{12} pot fi aduse în poziţii relative diferite în spaţiu, producînd astfel diferite forme de franje.

sursa este punctiformă, pupila ochiului primeşte numai radiaţia de pe o anumită direcţie şi, potrivit cu diferenţa de drum implicată — adică dacă

Scanned with CamScanner

undele sînt sau nu în fază —, nu va fi văzută decît lumină de diferite intensităţi ; nu vor exista franje. Dacă se foloseşte însă o sursă nepunctiformă, va pătrunde în ochi lumină din diferite direcţii ; unele din aceste direcţii vor corespunde intensităţii maxime, iar altele unei intensităţi zero. Cu alte cuvinte, va fi văzut un grup de franje suprapuse peste imaginea sursei.

Dacă viteza luminii variază cu direcţia, aceste franje vor fi în poziţii diferite de cele care ar corespunde unei viteze uniforme. Dar o astfel de deplasare nu ar putea fi detectată, neexistînd un etalon de comparare. De aceea Michelson şi Morley au construit un interferometru *rotativ* pentru a vedea cum se deplasează franjele atunci cînd interferometrului i se dau diferite orientări. A fost instrumentul lor suficient de sensibil ? Şi putea fi el astfel construit încît să fie suficient de rigid şi în acelaşi timp să fie rotativ ? Problema pe care o aveau de rezolvat poate fi comparată cu cea care i s-a pus lui Cavendish (p. 23).

Problema care trebuia soluţionată de Michelson şi Morley era următoarea : sensibilitatea aparatului lor depindea, evident, de dimensiunile lui. Dar mărind dimensiunile, problema rotaţiei continue devine mai dificilă. Michelson construise interferometre cu un drum de 1 m, dar pentru această experienţă el a considerat că ar fi necesari 10 m. A susţine un cerc cu un diametru de 10 m, suficient de rigid pentru experienţe interferometrice, părea o imposibilitate. De aceea, Michelson şi

Scanned with CamScanner

Morley au folosit sisteme de oglinzi pentru a mări lungimea drumului fără a creşte dimensiunile aparatului. Ei au montat întregul aparat pe o placă pătrată de piatră cu latura de 1,5 m şi grosimea de 0,3 m (fig. 28) ; placa se sprijinea pe un suport de lemn care plutea într-o baie de mercur.

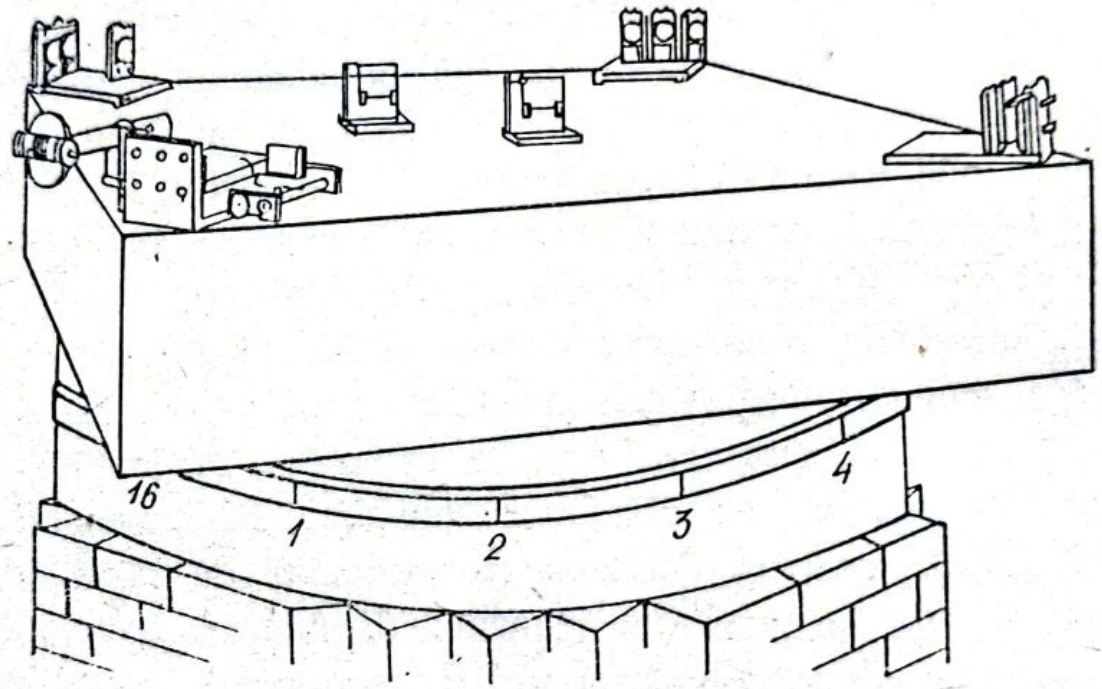


Fig. 28. Aparatul interferometric conceput de Michelson şi Morley pentru a determina viteza Pământului în spaţiul cosmic.

Oricine a făcut măsurători interferometrice va aprecia ingeniozitatea cu care a fost realizată o asemenea instalaţie şi au fost efectuate citirile. Citirile se făceau în timp ce aparatul era menţinut în continuă rotaţie, deoarece se observase că oprirea provoacă tensionări ce produceau confuzii în măsurători. Citirea poziţiei franjelor a fost făcută la 1/16 dintr-o revoluţie pentru 6 revoluţii, vi-

Scanned with CamScanner

teza — o rotaţie în şase minute — fiind suficient de mică pentru a se putea nota poziţia unei anumite franje cînd trecea prin faţa fiecăruia din cele 16 marcaje.

Dar rezultatul acestei munci a fost pînă la urmă nul. Au existat unele slabe deviaţii, dar erau mult mai mici decît cele scontate, chiar dacă nu s-ar fi avut în vedere decît devierea de la viteza orbitală a Pămîntului. Desigur, s-ar fi putut întîmpla ca în momentul cînd a fost efectuată experienţa, viteza Pămîntului să fi fost zero. De aceea au repetat experienţa la intervale de trei luni, deoarece după şase luni Pămîntul s-ar fi deplasat în direcţie opusă pe orbita în jurul Soarelui, dar nu au putut observa nici o mişcare perceptibilă a Pămîntului.

Acest rezultat părea să fie o slabă răsplată pentru toată strădania lor. Este improbabil ca întregul univers, inclusiv sistemul solar, să se rotească în jurul acestei mici planete care este Pămîntul. Marii fizicieni ai vremii au emis tot felul de explicaţii, dar faptul că nimeni nu se îndoia că rezultatele erau demne de încredere constituia un omagiu adus lui Michelson. La început Michelson şi Morley trebuie să se fi simţit deconcertaţi, dar seriozitatea cu care au fost primite rezultatele le-a redat probabil în oarecare măsură încrederea. Din fericire, ei au mai trăit suficient pentru a lua cunoştinţă de teoria relativităţii [1] emisă în 1905 de Einstein

[1] Lucrarea lor a devenit un argument important în favoarea acestei teorii, care, la rîndul ei, explica rezultatul negativ al experienţei lui Michelson şi Morley (*N.T.*).

Scanned with CamScanner

(1879—1955). Această teorie a fost repede acceptată de fizicieni. Episodul relatat arată că valoarea unor lucrări cu adevărat importante nu poate fi decît rareori complet apreciată de cei care au efectuat-o. Numai istoria este în stare să judece. S-ar putea ca ceea ce socotim a fi un eşec să fie în realitate un mare succes.

Scanned with CamScanner

8

Magnetismul şi electricitatea

Pînă acum am vorbit despre fenomenele accesibile în mod direct simţurilor noastre — mişcare, căldură, sunet şi lumină. Dar în afară de fenomene evidente, pentru noi, mai există în natură şi fenomene ascunse, a căror scoatere la iveală a dus la apariţia neaşteptată a unor noi ramuri ale fizicii. Magnetismul şi electricitatea sînt în această privinţă exemple reprezentative. Amîndouă au fost descoperite printr-o întîmplare. Diferite în aparenţă, studiul lor s-a împletit treptat în aşa fel, încît acum nu e posibil ca într-o expunere sistematică să fie tratate separat. Ambele trebuie considerate drept manifestări diferite ale aceleiaşi forţe.

Magnetismul era cunoscut cu cel puţin cinci secole înaintea erei noastre. Anumite pietre găsite în apropierea oraşului Magnes (astăzi Manissa) din

Scanned with CamScanner

Turcia aveau proprietatea de a fi orientate întotdeauna într-o anumită direcţie cînd se aflau liber suspendate. Nu se ştie cine a descoperit această proprietate şi în ce împrejurări. Să fi fost oare cu ocazia confecţionării unui fetiş sau a unor podoabe ? În orice caz, mintea care a putut face această observaţie trebuie să fi fost cu totul ieşită din comun. După cum am mai spus, este necesară o minte deosebită pentru a distinge fenomenul important de cel banal, iar descoperirea pietrei „găsitoare de drum" trebuie socotită drept una din marile realizări ale fizicii, deoarece a deschis căi noi şi nebănuite.

Nu este deci de mirare că un fenomen atît de greu de pătruns nu a putut să ducă decît foarte lent la noi progrese. Folosirea lui de către marinari ca indicator de direcţie a fost de o incalculabilă valoare, dar multă vreme proprietăţile acestei pietre au fost atribuite unor forţe supranaturale. Abordarea ştiinţifică a problemei — întîrziată de faptul că cercurile ştiinţifice aveau aversiune pentru experienţe — a fost lentă. În 1269, Peregrinus a dat publicităţii un manuscris în care a făcut cunoscută descoperirea sa, şi anume că un magnet are două regiuni unde „virtutea magnetică" este deosebit de puternică — ceea ce numim astăzi polii magnetului — şi că una din regiuni are tendinţa să se orienteze către nord, iar cealaltă către sud. El a constatat că polii de acelaşi fel se resping, iar cei diferiţi se atrag ; de asemenea că, dacă o piatră magnetică este spartă, fiecare dintre părţi are şi ea doi poli. Pe scurt, el descoperise aspectele fundamentale ale magnetismului.

Scanned with CamScanner

Omul al cărui nume este de obicei asociat cu fenomenul magnetismului este Gilbert (1540—1603). Marele său merit constă în faptul că a clasificat cît mai obiectiv posibil numeroase fenomene magnetice cunoscute, dintre care multe trebuie să le fi aflat din lucrarea lui Peregrinus. În 1600 el a publicat propria sa lucrare, *De Magnete,* în care şi-a consemnat observaţiile. Cea mai de seamă experienţă a sa urmărea să explice magnetismul terestru. Gilbert a folosit o piatră magnetică de formă sferică („terrella" — fig. 29) şi a cercetat modul în care ea influenţează un mic ac de busolă, confecţionat dintr-o mică bucată de fier ; el a semnalat asemănarea dintre comportarea acestui ac şi comportarea busolei de înclinaţie (un ac magnetic oscilînd liber în plan *vertical*) în vecinătatea Pămîntului şi a tras concluzia că Pămîntul este un mare magnet, fapt pe care azi îl acceptăm ca atare, dar pe care nici acum încă nu-l înţelegem pe deplin.

Gilbert a emis părerea că „virtutea magnetică se revarsă din toate părţile" unui corp magnetic — afirmaţie care prevestea concepţia modernă a cîmpului magnetic. Noţiunea de cîmp este atît de răspîndită în fizică, încît lucrarea lui Gilbert trebuie apreciată favorabil, chiar numai pentru acest concept.

Studierea fenomenelor electrice a decurs într-un ritm şi mai lent decît a magnetismului, probabil fiindcă nu aveau aplicaţii practice. Proprietăţile electrice ale chihlimbarului erau neîndoios cunoscute pe vremea cînd a fost descoperită piatra de magnetită. Este mult mai uşor de făcut presupuneri cu privire la această descoperire ; s-ar putea ca

Scanned with CamScanner

vreun păstor să fi observat cum smocuri de lînă se lipeau de o podoabă de chihlimbar. Dar proprietăţile electrice sînt mult mai greu de cercetat, deoarece ele nu sînt constante în timp.

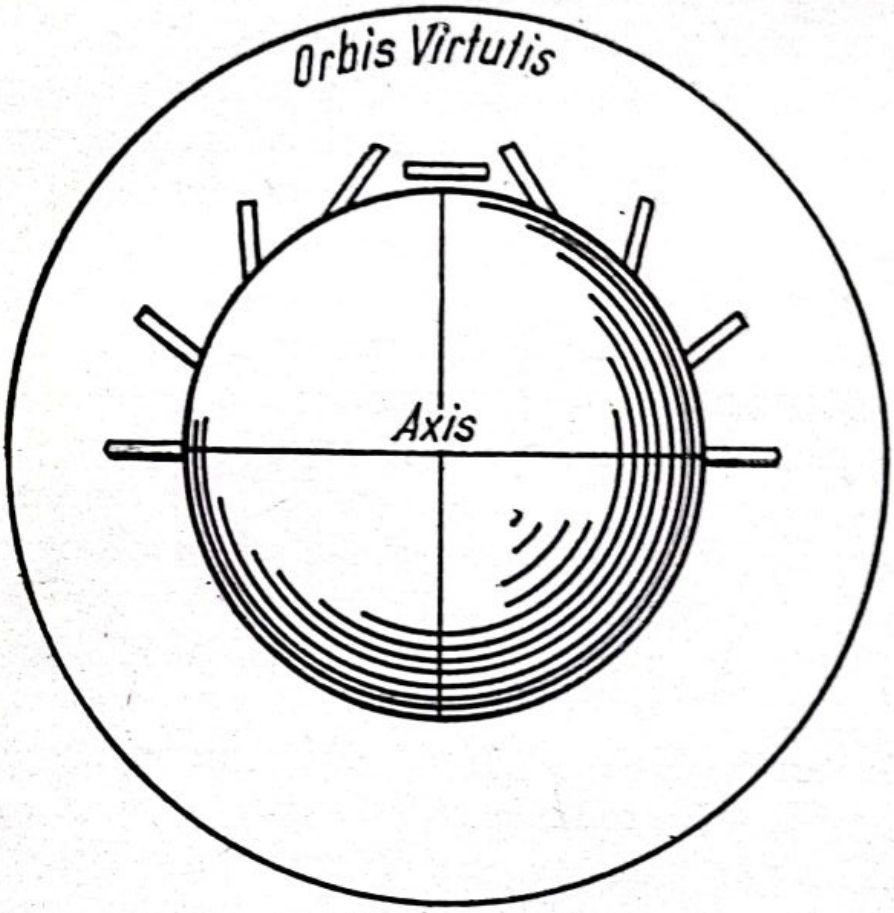


Fig. 29. „Terrella" lui Gilbert.

Tot Gilbert a fost acela care a dat oarecare viaţă acestui domeniu. El a încercat să afle care substanţe se aseamănă şi care nu se aseamănă cu chihlimbarul sub raportul manifestărilor electrice. Din cea de-a doua categorie făceau parte mai ales metalele, dar Gilbert nu avea, bineînţeles, suficiente cunoştinţe de bază pentru a-şi da seama de importanţa observaţiilor sale.

Scanned with CamScanner

În 1660, Guericke a realizat o maşină electrică (fig. 30) ; ea consta dintr-un glob de sulf, montat pe un ax de fier ; acest glob putea fi rotit, în timp ce cineva ţinea mîna pe el. În felul acesta, globul se încărca cu electricitate şi putea produce mici scîntei — primele obţinute vreodată de un experimentator. Guericke a observat că diverse

Fig. 30. Maşina electrică a lui Guericke.

corpuri uşoare sînt atrase de glob, iar apoi imediat respinse ; ele nu puteau fi din nou atrase pînă ce nu erau atinse de un alt corp.

Astăzi ştim să explicăm toate aceste manifestări, dar pe vremea aceea ele stîrneau uimire. Magnetismul şi electricitatea aveau proprietăţi asemănătoare ; erau ele manifestări ale aceluiaşi fenomen ? Acest lucru părea într-adevăr foarte probabil, magnetismul fiind asociat cu fierul, iar electricitatea cu chihlimbarul şi cîteva alte materiale —

Scanned with CamScanner

aşa-numitele „electrice" ale lui Gilbert. Era însă clar că efectele electrice sînt mult mai puţin stabile decît cele magnetice. Magnetismul nu poate fi înlăturat prin simplul contact cu un alt corp. Gilbert observase că există şi o altă deosebire ciudată — atracţia electrică se produce în linie dreaptă, pe cînd cea magnetică este în general oblică (fig. 29). Azi ştim că această din urmă însuşire este rezultatul faptului că polii magnetici se prezintă întotdeauna ca perechi, în timp ce sarcinile electrice pot fi singulare. Era necesară o doză de geniu pentru a pune ordine în toate aceste idei.

E greu de spus cu exactitate cine a fost acest geniu. Dar în 1733, după aproape un secol, Dufay (1698—1739) era în măsură să afirme că fenomenele electrice pot fi explicate presupunîndu-se existenţa a două tipuri de electricitate : vitroasă (pozitivă) şi răşinoasă (negativă). El a întocmit o listă de substanţe (printre care şi sticla), care generează primul tip de electricitate şi alta (printre care şi chihlimbarul) care generează cel de-al doilea tip. Fiecare din ele respinge corpurile cu acelaşi fel de electricitate ca a lui şi atrage felul de electricitate diferit de al său. Erau puse astfel bazele noii discipline.

Pasul următor merită atenţia noastră dintr-un alt punct de vedere ; el marchează afirmarea Americii pe plan ştiinţific. În 1620 aşa-numiţii „părinţi pelerini" [1] au întemeiat un nou stat. La început au fost nevoiţi să-şi folosească toate resursele mai ales pentru a supravieţui. Dar cum colonia devenise prosperă, descendenţii lor au dus o viaţă

[1] Puritani englezi (*N.T.*).

Scanned with CamScanner

ceva mai ușoară și și-au putut permite să acorde atenție unor chestiuni mai puțin stringente — între altele și-au putut consacra timpul liber artelor și științelor. Printre ei s-au ivit oameni înzestrați care s-au putut consacra și unor activități lipsite de perspectiva unei utilizări imediate.

Un asemenea om a fost Franklin (1706—1790), a cărui mare pasiune științifică a fost electricitatea. El a efectuat acea strălucită experiență prin care a dovedit că fulgerul este de natură electrică, făcînd electricitatea fulgerului să treacă prin sfoara udă a unui zmeu. A fost o experiență temerară, care l-ar fi putut costa viața. Nimeni nu ar avea azi curajul să se transforme de bunăvoie în corp conducător pentru fulger! Dar Franklin nu a pățit nimic și a putut efectua și alte experiențe mai puțin impresionante, dar de mai mare importanță.

Marea contribuție adusă de el a fost modificarea teoriei lui Dufay referitoare la cele două feluri de electricitate. În jurul anului 1748 el a emis părerea că nu este vorba decît de un plus sau o lipsă a unuia și aceluiași fel de electricitate. „Părțile care sînt frecate atrag în momentul frecării focul electric și astfel îl elimină din corpul care freacă; aceleași părți sînt gata să transmită focul pe care l-au primit oricărui corp care are mai puțin". În această frază găsim baza actualei teorii a ceea ce numim astăzi electrostatică.

Un aparat care a avut un rol important în această ramură a electricității și pe care Franklin l-a folosit într-o măsură considerabilă este butelia de Leyda. Ea a fost descoperită — nu inventată — în 1745 de von Kleist. Acesta a introdus un cui într-un flacon farmaceutic conținînd puțin

Scanned with CamScanner

mercur şi a constatat că acest cui putea să înmagazineze o mare cantitate de electricitate : „Dacă atunci cînd este electrizat pun degetul pe cui, primesc un şoc care îmi zguduie braţele şi umerii". Curajos om !

Deşi acceptăm şocurile electrice ca lucruri de la sine înţelese, faptul că trupul nostru reacţionează în felul acesta la fluxul de electricitate este în sine însuşi semnificativ. Procesele vitale sînt comandate pe cale electrică, iar un şoc electric este în esenţă o mare suprasarcină în circuitul electric. Este remarcabil că trupul omenesc poate rezista unei suprasarcini de ordinul 10^5 fără a suferi o vătămare cu caracter permanent, chiar dacă sarcina durează abia o mică fracţiune dintr-o secundă. Vom vedea mai jos cum această îmbinare dintre electricitate şi procesele vitale a dus la cunoştinţe şi mai remarcabile într-o altă ramură a fizicii — curentul electric.

Dar să continuăm cu explorarea electricităţii statice. În ce mod depinde forţa de atracţie sau de repulsie de mărimea sarcinii şi de distanţa la care se află cele două corpuri ? Cea de-a doua parte a problemei a fost rezolvată de Coulomb (1736—1806) şi, ca omagiu adus lucrărilor sale, unitatea de măsură a cantităţii de electricitate a primit numele său. Faptul este ciudat din două motive. În primul rînd, un coulomb reprezintă o sarcină mult mai mare decît aceea cu care Coulomb sau oricare altul ar fi putut avea de-a face, deoarece doi coulombi, separaţi printr-o distanţă de un metru, exercită unul asupra celuilalt o forţă de cîteva milioane de tone ; şi, în al doilea rînd, se pare că pe Coulomb îl interesa mai mult mo-

Scanned with CamScanner

dul de utilizare a unor aparate decît electricitatea în sine. El a conceput un aparat de foarte mare sensibilitate pentru măsurarea forţei — balanţa de torsiune (fig. 31) — şi căuta domenii de aplicare a acestei balanţe.

De altfel nu era singurul care folosea acest aparat. Aproape în aceeaşi vreme, Cavendish îl folosea pentru măsurarea mărimii G. Dar după cum am văzut, problemele lui Cavendish erau strîns legate de experienţa sa, pe cînd Coulomb a construit instrumente mult mai mici şi s-a străduit să le facă cît mai sensibile. Unul dintre instrumentele sale folosea pentru suspensie un singur fir de mătase, lungă de 10 cm, care dădea o deviaţie de 1° pentru o forţă de 3×10^{-9} grame-forţă [1]. Cu asemenea instrumente Coulomb a găsit că forţa ce se exercită între două sarcini electrice şi între doi poli magnetici variază invers proporţional cu pătratul distanţei ce-i separă.

Manualele vorbesc puţin despre cealaltă parte a legii lui Coulomb, şi anume că forţa ce se exercită între cele două sarcini este proporţională cu mărimea fiecărei sarcini. Acest fapt este considerat mai mult sau mai puţin ca de la sine înţeles, dar verificarea experimentală nu pare să fie uşoară, dat fiind că pentru a defini mărimea sarcinii trebuie să se recurgă la însăşi legea lui Coulomb. Am putea aborda însă problema pornind de la presupunerea că, dacă o sferă conductoare încărcată este atinsă de o sferă similară neîncărcată, sarcina se va împărţi în mod egal între cele două sfere. Dacă experienţa lui Coulomb este efectuată cu o

[1] Vezi nota de la p. 24 (*N.T.*).

Scanned with CamScanner

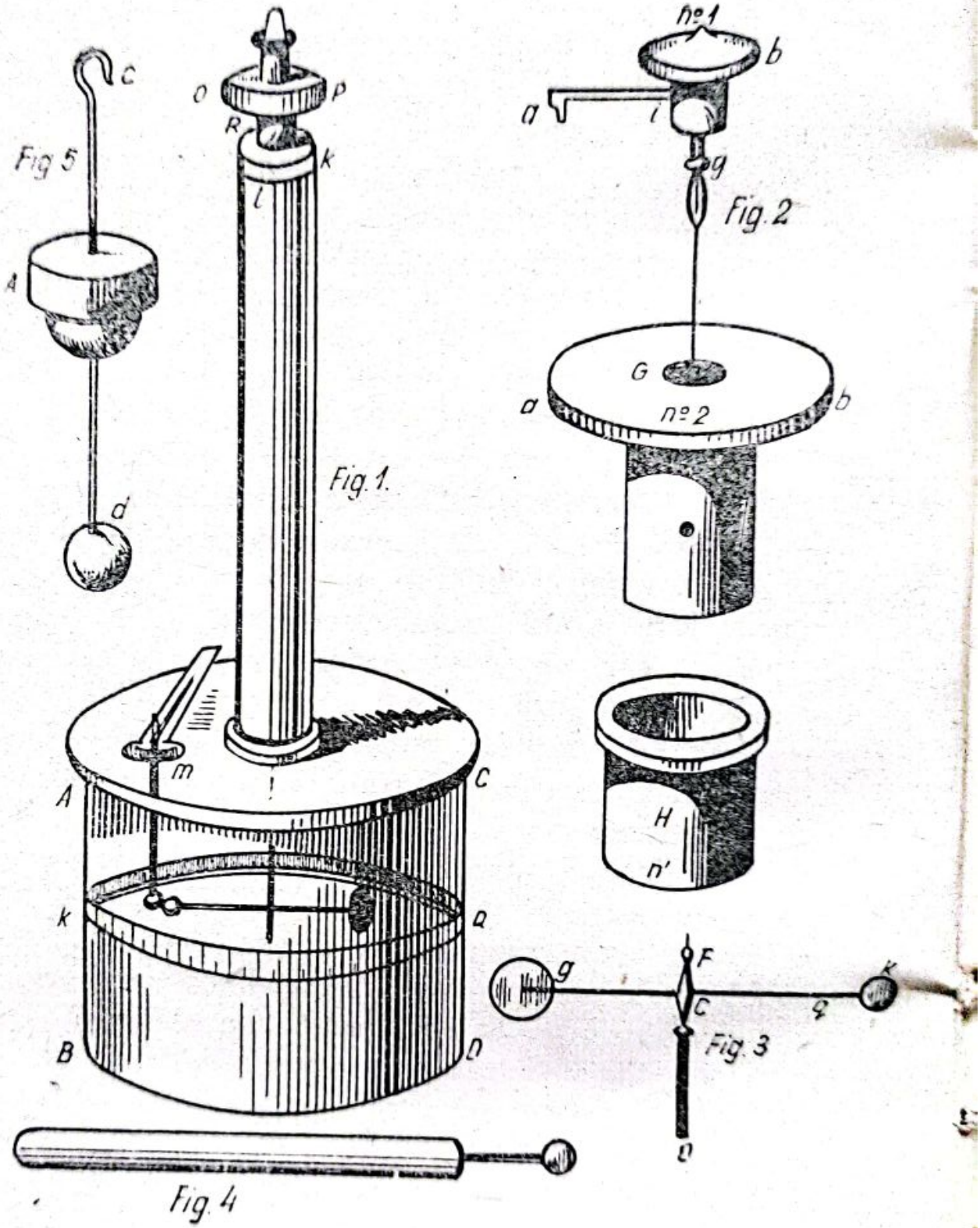


Fig. 31. Balanța de torsiune concepută de Coulomb.

Scanned with CamScanner

sferă încărcată care respinge o sferă încărcată cu o sarcină dată, iar apoi cu o sferă cu sarcina de două ori mai mică, forţele ar trebui deci să fie şi ele în raportul de 2 : 1. Dacă acest rezultat este corect pentru raportul menţionat, el va fi corect pentru orice raport şi deci legea este general valabilă. Această metodă nu poate fi, bineînţeles, aplicată în cazul magnetismului, deoarece nu dispunem de vreo metodă simplă pentru divizarea polilor magnetici.

Trebuie totuşi menţionat că legea nu poate fi perfect corectă. Dacă ar fi, între un corp încărcat şi unul neîncărcat nu s-ar exercita nici o forţă, pe cînd, de fapt, tocmai existenţa unei asemenea forţe a dus la descoperirea electricităţii. Nu am menţionat aici forţele de polarizare, căci aceasta ne-ar obliga să atingem probleme prea dificile pentru nivelul acestei cărţi.

O metodă mult mai precisă — dar mai puţin directă — de verificare a legii inversei proporţionalităţi cu pătratul distanţei pentru sarcinile electrice a fost elaborată de Cavendish în jurul anului 1774. Ea a constat pur şi simplu în a arăta că în interiorul unui conductor încărcat închis cîmpul electric este nul ; acest rezultat poate fi dovedit numai dacă se aplică legea inversei proporţionalităţi cu pătratul distanţei. Precizia cu care poate fi verificată legea depinde exclusiv de sensibilitatea detectorului de cîmp şi astăzi este general admis că puterea este 2, cu o precizie de 1 la 10^7 — o precizie care depăşeşte cu mult posibilităţile experienţelor lui Coulomb.

La sfîrşitul secolului al XVIII-lea, cunoştinţele în materie de magnetism erau deci mai vaste şi

Scanned with CamScanner

mai sistematizate decît la începutul aceluiaşi secol. Cu oameni cum erau Cavendish, iar mai tîrziu Gauss (1777—1855), problemele au început să poată fi tratate din punct de vedere teoretic şi să ocupe astfel un loc de seamă în fizică.

Cea mai mare parte a cunoştinţelor noastre despre electricitate datează însă dintr-o perioadă mai tîrzie — este vorba de efectele electricităţii în mişcare. Cum se întîmplă de obicei în fizică, descoperirea acestor efecte nu s-a făcut pe o cale directă, ca, de pildă, prin deplasarea unei sarcini pentru a vedea ce se întîmplă. O sarcină obţinută în mod normal, prin frecare, este mult prea mică pentru a produce un efect care să poată fi observat cu uşurinţă. Descoperirea a fost făcută în 1786, într-un mod foarte ciudat, de către anatomistul Galvani (1737—1798). Această descoperire a constituit începutul unui şir de experienţe celebre, efectuate mai întîi în Italia, iar apoi şi în alte ţări, în special în Anglia. Pînă la urmă, aceste experienţe au schimbat integral modul de viaţă al oamenilor. Nici o altă ramură a fizicii nu a exercitat o asemenea înrîurire asupra vieţii sociale, căci aceste experienţe au deschis calea industriei electrificate — trăsătura cea mai caracteristică a civilizaţiei contemporane.

Din păcate, originea descoperirii făcute de Galvani nu a fost consemnată cum se cuvine ; se pare că el însuşi a relatat unor persoane diferite cîteva versiuni. E regretabil, pentru că este vorba de o descoperire atît de ciudată, încît ar fi fost interesant să se cunoască cum s-a produs în realitate. Toate relatările conţin anumite elemente comune — participarea lui Galvani şi a soţiei sale, un pi-

Scanned with CamScanner

cior de broască de curînd amputat, un scalpel de oţel. După cum era uzul în acea vreme, cînd specializarea era încă abia în faşă, laboratorul lui Galvani conţinea atît aparate de fizică, cît şi de anatomie. Se spune că soţia lui a observat că în timp ce tăia piciorul de broască, acesta avea tresăriri. Ea a atribuit fenomenul unei butelii de Leyda încărcată, aflată în apropiere.

Efectul nu era însă destul de concludent ; mai rămînea, evident, un factor neexplicat. După multe cercetări, Galvani a aflat care era acest factor — şi anume, felul în care era ţinut scalpelul : dacă mîna sa atingea lama sau unul din niturile în care era prinsă, piciorul se contracta. Dacă ţinea numai mînerul de os, contracţia nu avea loc. Era uluit şi şi-a pus întrebarea dacă nu cumva electricitatea atmosferică avea vreun rol în producerea fenomenului ; de aceea a atîrnat picioarele de broască afară, pe un grilaj de fier. Nu s-a întîmplat însă nimic. Obosit de aşteptare, el a apăsat pe cîrligele de alamă de care era atîrnat piciorul şi uneori a observat o contractare. Efectul nu părea însă să aibă un caracter regulat. Atunci a revenit la condiţiile mai uşor controlabile din laborator ; a aşezat piciorul de broască pe o placă de fier şi cînd a apăsat cîrligele de alamă pe placă piciorul s-a contractat *de fiecare dată*. Găsise soluţia — era necesar contactul a două metale diferite ; acelaşi rezultat se obţinea şi cu alte metale, dar nu cu materiale izolante, cum ar fi, de pildă, sticla.

Oricare ar fi versiunea adevărată, genialitatea cercetătorului s-a vădit în faptul că din sumedenia de informaţii de tot felul şi-a dat seama că pot fi

Scanned with CamScanner

obținute efecte similare cu cele produse de sarcinile electrice prin simplul contact a două metale diferite.

Galvani s-a întors probabil la studiul anatomiei, deoarece după aceea numele său nu mai este pomenit niciodată în legătură cu electricitatea. Dar descoperirea lui a declanşat un lung şir de evenimente. Un concetăţean al său, Volta (1745—1827), a dus descoperirea pînă la capăt. El a înlăturat din ea toate elementele anatomice, limitînd-o la aspectul ei pur fizic. Şi-a dat seama că pentru reuşită nu este necesar decît contactul dintre două metale, separate printr-un material cu conductibilitate slabă, aşa cum era lichidul din piciorul broaştei. Astfel a confecţionat prima pilă electrică, alcătuită dintr-o placă de zinc şi una de cupru, separate între ele printr-o bucată de pînză îmbibată cu apă sărată sau cu un acid diluat. În 1775 a publicat o dare de seamă asupra a ceea ce a devenit cunoscut sub denumirea de „pila lui Volta", un ansamblu cilindric alcătuit din elementele descrise mai sus.

El a realizat şi un alt dispozitiv, denumit *„la Couronne de Tasses"*. Bare de zinc şi argint erau cufundate în nişte cupe conţinînd o soluţie sărată, conexiunile dintre cupe făcîndu-se cu sîrmă. Cu 30 de asemenea celule se obţinea un „şoc" electric clar perceptibil şi suficientă căldură pentru topirea unei sîrme destul de groase. A devenit necesar un termen pentru a desemna „forţa" electrică pe care o produceau aceste celule. Ea putea fi comparată cu presiunea generată de diferenţa de nivel în cazul apei ; dat fiind că noi spunem că un nivel mai înalt al apei are un potenţial mai mare, putem da

Scanned with CamScanner

„forței" electrice denumirea de *diferență de potențial electric ;* sau pentru că determină curgerea unui curent electric, îi putem spune *tensiune electromotoare.* În cinstea lui Volta, unitatea de măsură a acestei forțe poartă numele de *volt* și mărimea unei anumite diferențe de potențial este denumită *voltajul* acesteia.

Continua însă să existe o oarecare îndoială cu privire la natura „fluidului" generat de pila lui Volta. Faptul că provoca șocuri nu constituia o dovadă certă că era într-adevăr vorba de electricitate. Se impunea efectuarea unei experiențe mai concludente. O asemenea experiență a putut fi efectuată cu ajutorul electroscopului cu foițe de aur inventat în anul 1787 de Bennet (1750—1799). Elementul sensibil îl constituia o pereche de foițe făcute din folie de aur, unite între ele în partea de sus și care se respingeau atunci cînd li se transmitea electricitate. Potențialul electric produs de o pilă voltaică nu este suficient pentru a devia foițele ; marea energie produsă de pilă constă în continuitatea efectelor, și nu într-o tensiune înaltă. Trebuia deci cercetată modalitatea prin care ar putea fi sporit efectul pilei voltaice.

Acest lucru poate fi făcut folosindu-se efectul de condensator al unei alte plăci, așezată aproape de placa electroscopului cu foițe de aur ; între cele două plăci conectăm pila (fig. 32 *a*). Depărtînd plăcile una de alta — după ce pila a fost deconectată —, se obține o deviere a foițelor (fig. 32 *b*). Nu am putut stabili cine a efectuat primul această experiență, dar ea furnizează dovada certă că cele două feluri de electricitate sînt de aceeași natură. S-ar putea ca la început să nu fi fost înțeleasă, ea

Scanned with CamScanner

implicînd teoria condensatorului, apărută abia mai tîrziu. Electroscopul cu foiţe de aur dă o indicaţie asupra diferenţei de potenţial ; cînd capacitatea descreşte, potenţialul la sarcină constantă creşte, devenind suficient pentru devierea foiţelor.

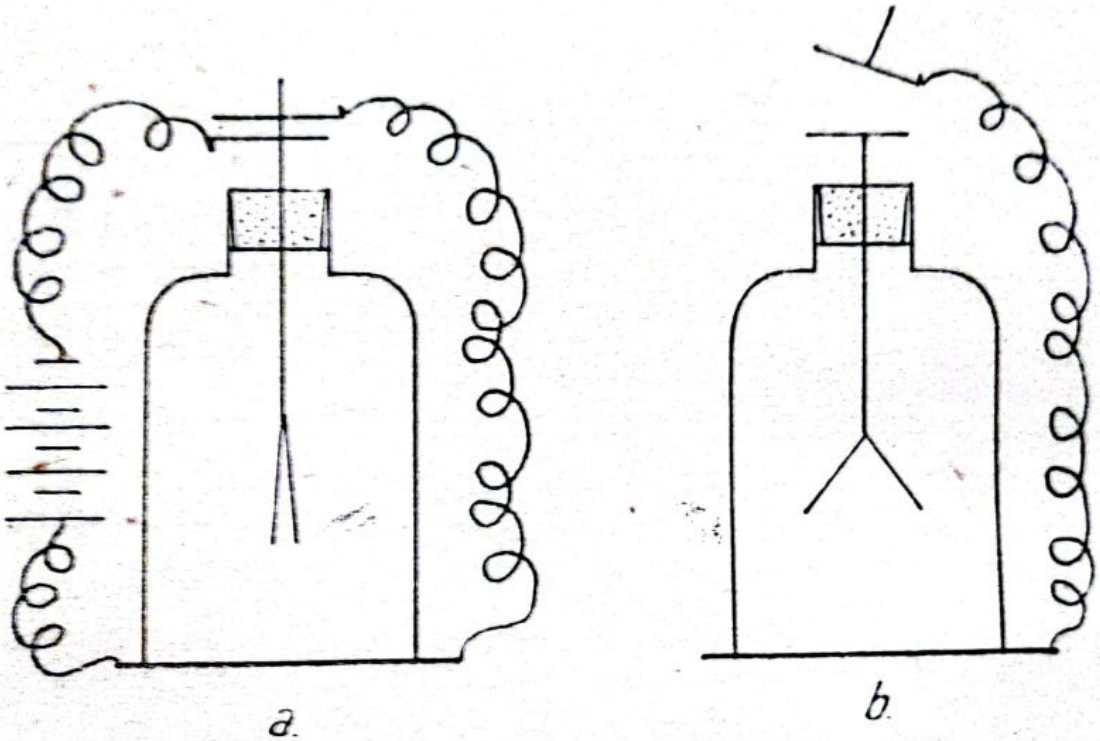


Fig. 32. Metoda electroscopului-condensator pentru stabilirea identităţii dintre electricitatea galvanică şi cea de frecare.

Pila şi bateria lui Volta erau nişte jucării minunate. Mulţi oameni le-au copiat şi au efectuat experienţe fascinante. Dar puteau ele contribui la progresul ştiinţei ? Răspunsul la această întrebare a fost dat în 1800 prin descoperirea electrolizei de către Nicholson şi Carlisle. Acesta din urmă construise o pilă voltaică din 17 monede de 2 şilingi şi jumătate (pe atunci erau efectiv de argint) şi 17 piese de zinc, separate prin discuri de mucava îmbibate cu apă sărată. Ei au izbutit să arate — folosind elec-

Scanned with CamScanner

troscopul cu foiţe de aur — că borna de argint a pilei era negativul, iar borna de zinc — pozitivul.

Au verificat faptul că pila nu poate acţiona prin intermediul unor materiale cum ar fi sticla, că pentru a funcţiona sînt necesare metale. Pentru a fi siguri de conexiunile făcute, au pus o picătură de apă pe placa atinsă de conductor şi au observat formarea unor mici bule de gaz, ei pretinzînd chiar că „pot mirosi hidrogenul". În consecinţă, au trecut

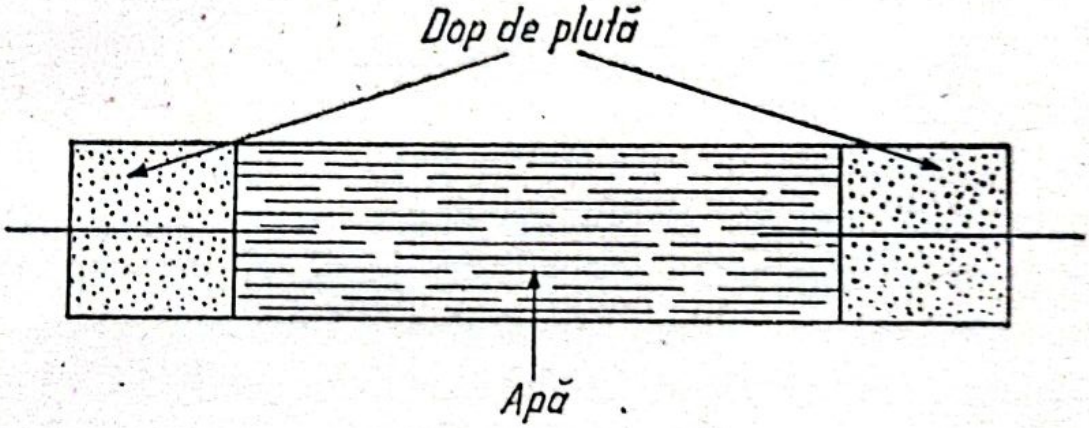


Fig. 33. Schiţa aparatului cu care Nicholson şi Carlisle au studiat electroliza apei.

la o verificare riguroasă. Au fixat dopuri de plută la cele două capete ale unui tub de sticlă şi prin fiecare dop au trecut cîte un fir de alamă (fig. 33) ; apoi au umplut tubul cu apă. Cînd conectau firele la bornele pilei se putea vedea un curent continuu de bule de gaz degajîndu-se de la capătul firului legat la borna de argint, iar luciul metalic al celuilalt capăt dispărea. Cînd firul de alamă era înlocuit cu un fir de platină, la ambele capete se degajau bule de gaz. Nicholson şi Carlisle au conchis că disociaseră apa în elementele ei constitutive — oxigen şi hidrogen.

Scanned with CamScanner

Acest fenomen are o importanță teoretică și practică extrem de mare. În cartea de față nu ne ocupăm însă de partea explicativă ; ne rezervăm dreptul de a discuta importanța ei teoretică în capitolul intitulat *Structura materiei*. Pentru moment este suficient să menționăm că fenomenul electrolizei a constituit o dovadă în plus că electrostatica și „galvanismul" sînt înrudite ; s-a dovedit că este posibil să se descompună apa dacă prin ea se descarcă o mașină electrostatică cu frecare.

Această experiență a fost efectuată în 1801 de Wollaston (1766—1828). El și-a dat seama că efectul va fi foarte mic și deci că gazul va putea fi văzut cu claritate numai dacă va fi emanat printr-un vîrf ascuțit. A luat așadar o sîrmă subțire de aur cu vîrf ascuțit, a topit în jurul ei un capilar de sticlă și a polizat capătul pînă ce vîrful abia mai apărea. Dintr-un astfel de vîrf a putut obține scînteie sub apă și, în același timp, a văzut apărînd bule minuscule. Acum nu mai putea fi nici un dubiu că „galvanismul" nu era decît un flux continuu de electricitate, cu alte cuvinte curent electric.

Pila lui Volta a constituit ani de-a rîndul o preocupare pentru oamenii de știință ; ei se întreceau în a face baterii mai mari și mai bune, cupînd piese mai mari de metal și preconizînd metode de folosire a curenților electrici pentru semnalizare. Ei intuiau că între magnetism și electricitate trebuie să existe o legătură și este oarecum surprinzător că au fost necesare decenii pentru ca această legătură să fie descoperită. Faptul este surprinzător, căci relația este foarte simplă, oamenii de

ştiinţă o căutau, iar mijloacele pentru descoperirea ei le stăteau la îndemînă. În comparaţie cu descoperirea lui Galvani, era copilăresc de simplă. Cu toate acestea, ea s-a lăsat aşteptată. Poate fiindcă oamenii de ştiinţă de pe vremea aceea erau ca obsedaţi de noua jucărie pe care Volta o inventase pentru ei.

Descoperirea cîmpului magnetic existent în jurul unui curent electric a fost făcută în 1820 de Oersted (1777—1851). Se spune că el ar fi făcut această descoperire în timpul unei prelegeri, pe cînd discuta relaţia existentă între magnetism, galvanism şi electricitate. El a aşezat un ac de busolă în apropierea unui conductor ce se afla paralel cu el ; cînd prin conductor a trecut curentul de la o baterie, acul cu busolă şi-a schimbat poziţia, aşezîndu-se în direcţia est-vest. Această experienţă simplă a pus bazele unei noi discipline ştiinţifice — electromagnetismul.

Alţi oameni de ştiinţă au verificat imediat descoperirea lui Oersted şi, la rîndul lor, au făcut importante descoperiri. În acelaşi an în care Oersted îşi făcuse descoperirea, Arago a inventat electromagnetul trecînd un curent printr-o bobină ce înconjura o bară de fier. Ampère (1775—1836) a dedus de aici — şi a verificat prin experienţă — că curenţii paraleli se atrag reciproc, iar în 1821 Faraday (1791—1867) — cel mai genial experimentator — a pus un magnet să se rotească încontinuu în jurul unui curent şi în felul acesta a realizat de fapt primul motor electric.

O altă consecinţă a experienţei lui Oersted a fost aceea că oferea o metodă obiectivă de măsurare a electricităţii. Unii dintre oamenii de ştiinţă

Scanned with CamScanner

din perioada precedentă trebuiseră să aprecieze intuitiv tăria şocului pe care-l primeau, dar acum devenise posibilă măsurarea prin devierea acului de busolă. Acest lucru a permis obţinerea de rezultate cantitative în acest domeniu şi, în felul acesta, elaborarea unei teorii complete a electrodinamicii.

Prima întrebare care se punea a fost : „În ce mod depinde curentul de bateria folosită şi de natura conductorului prin care trece respectivul curent ?“ Azi ştim că răspunsul este dat de legea lui Ohm. Şi această lege — ca şi legile gazelor — este atît de simplă, încît astăzi sînt trecute cu vederea dificultăţile ce au trebuit învinse pentru a o stabili, iar vicisitudinile prin care a trecut autorul ei sînt date uitării. Legea lui Ohm nu este uşor de verificat şi nu trebuie acceptată ca un adevăr evident ; de altfel, pentru multe materiale ea nici nu este valabilă.

De ce natură sînt dificultăţile la care ne-am referit ? Să ne imaginăm că dispunem de o pilă voltaică şi de un ac de busolă pentru a măsura curentul dintr-un conductor. Nu am putea oare încerca să vedem ce efect are mărirea numărului de celule din pilă şi ce curent obţinem ? Procedînd astfel modificăm întregul circuit, deoarece celulele suplimentare trebuie totodată să opună rezistenţă la trecerea curentului. Trebuie aşadar să găsim o cale de schimbare a voltajului fără a schimba bateria ca atare. De asemenea, curenţi diferiţi produc în conductor temperaturi diferite, iar acest efect poate să influenţeze şi el curentul.

Ohm (1789—1854) a înlăturat aceste dificultăţi făcînd uz de fenomenul termoelectricităţii, descoperit în 1822 de Seebeck (1770—1831). Acest feno-

Scanned with CamScanner

men se produce atunci cînd locul de joncţiune a două materiale diferite este încălzit ; drept urmare se produce o mică tensiune şi aceasta poate genera un curent. Seebeck a descoperit efectul folosind plăci de stibiu şi bismut, iar ca detector de curent — o bobină cu multe spire ce înconjurau un mic magnet. El a obţinut o deviere numai atunci cînd apăsa cu mîinile plăcile amintite şi şi-a dat repede seama că efectul este produs de căldura mîinilor sale. A folosit atunci o lampă pentru a încălzi plăcile şi a obţinut o deviaţie mult mai mare. El nu a înţeles însă întru totul efectul găsit, pe care l-a denumit „polarizare magnetică".

Ohm şi-a dat seama că acest efeot îi putea furniza sursa de potenţial electric de care avea nevoie. Cu diferenţe fixe de temperatură tensiunea ar fi foarte constantă, iar curenţii produşi fiind slabi, nu ar avea loc o încălzire apreciabilă. În consecinţă, a construit ceea ce poate fi considerat drept primul instrument propriu-zis pentru cercetări electrice (fig. 34). Instrumentele anterioare erau lipsite de sensibilitate. Partea superioară, cilindrică, este detectorul de curent — o balanţă de torsiune ; *ab* şi *a'b'* sînt termoelemente, realizate prin fixarea unor piese de cupru pe o piesă transversală din bismut, iar *m* şi *m'* sînt cupe cu mercur în care se pot stabili contacte cu termoelementele. Un conductor era conectat la cupele amintite, capetele fiind pilite de fiecare dată cînd erau legate în circuit, căci Ohm cunoştea importanţa curăţeniei. A introdus pe *a* în apă clocotită şi pe *a'* într-un amestec de gheaţă şi apă, notîndu-şi deviaţia citită la galvanometru. S-ar putea compara meticulozitatea tipic germană şi atenţia acordată amănuntelor de către

Scanned with CamScanner

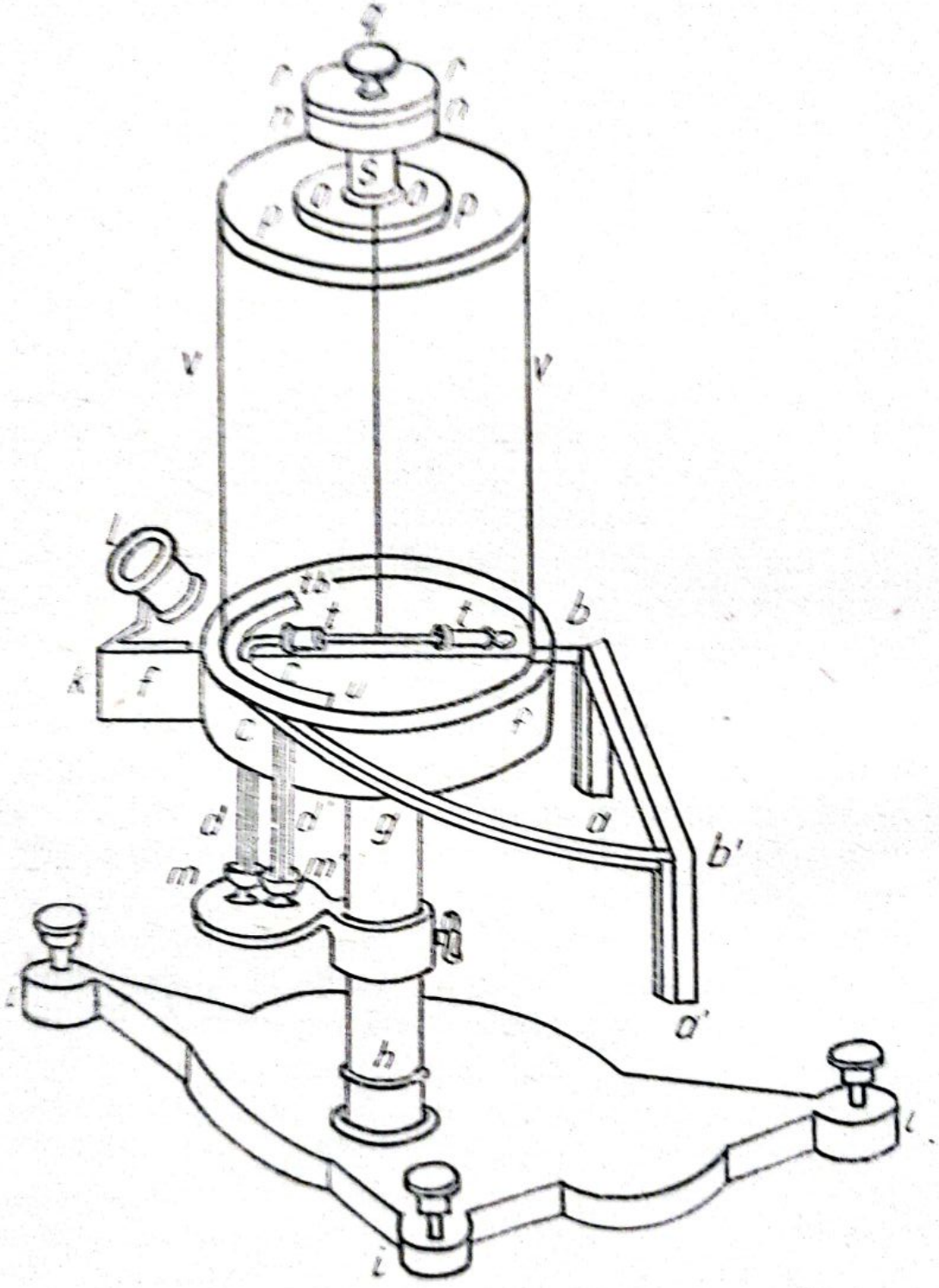


Fig. 34. Aparatul lui Ohm pentru determinarea relaţiei dintre curent şi rezistenţă.

Scanned with CamScanner

Ohm cu entuziasmul aproape copilăresc de care a dat dovadă Faraday în multe dintre lucrările sale. Ambele atitudini sînt necesare în fizică. Cea de-a doua însuşire iniţiază de obicei lucrarea, iar prima este necesară pentru a o completa şi a-i da rigoarea ştiinţifică.

Ohm a folosit drept conductori opt bucăţi de sîrmă de cupru de diferite lungimi. La început nu a obţinut rezultate ce puteau fi reproduse, dar după o săptămînă metoda de măsură a fost pusă la punct şi Ohm a putut face citiri pentru fiecare din conductori. Aceste citiri (vezi tabelul) reprezintă unghiurile de torsiune ale suspensiei, necesare pentru a readuce acul busolei la zero. Ohm a arătat că printr-o alegere adevărată a constantelor lungimea x şi torsiunea X sînt legate printr-o ecuaţie de forma :

$$X = \frac{A}{B + x}$$

în care A şi B sînt constante. Putem să reprezentăm această relaţie prin graficul lui x funcţie de $1/X$ (fig. 35).

Tabelul rezultatelor obţinute de Ohm

Lungimea X	5	10	15	25	45	85	165	325
Torsiunea X (observată)	305	282	258 1/2	223 1/2	178	124 3/4	78	44
Torsiunea X (calculată)	305 1/2	280 1/2	259	224 3/4	177 3/4	125 1/4	79	45

Ohm a repetat experienţa cu sîrmă de alamă şi a constatat că se obţin rezultate similare dacă lui A i se dă o valoare diferită, dar B îşi păstrează va-

Scanned with CamScanner

loarea neschimbată. Pentru termoelementele sale a folosit temperaturile de 0° şi 7½°R (9,4°C) şi a constatat că deviaţiile au scăzut aproximativ de zece ori. În consecinţă, admiţînd că tensiunea produsă de

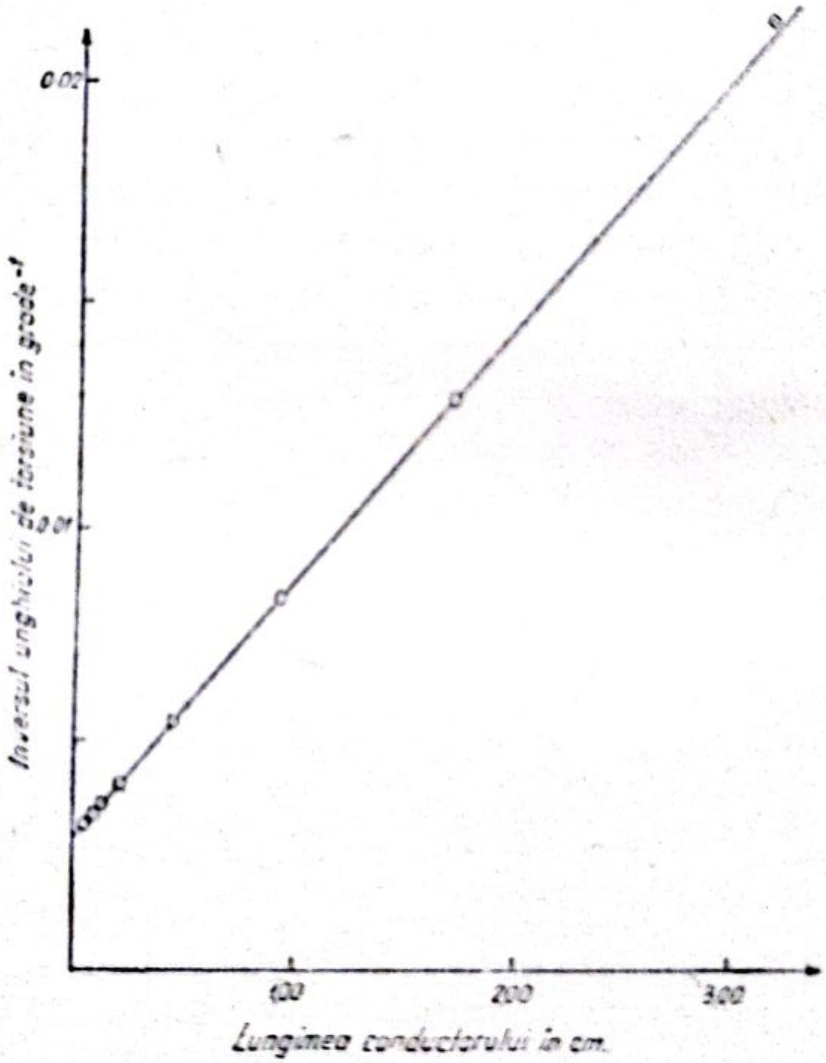


Fig. 35. Graficul rezultatelor obţinute de Ohm.

aparat este proporţională cu diferenţa de temperatură — rezultat despre care ştim azi că este aproximativ corect —, curentul va fi proporţional cu această tensiune. El a mai arătat că curentul este invers proporţional cu o mărime ce depindea de

Scanned with CamScanner

lungimea conductorului ; a denumit această mărime *rezistență ;* cît despre mărimea *B,* trebuie să considerăm că ea este o măsură a rezistenței celorlalte elemente din circuit.

Ohm a arătat deci că curentul este proporțional cu tensiunea și invers proporțional cu rezistența totală a circuitului.

Ceea ce a realizat Ohm este un exemplu de felul în care un rezultat de o simplitate minunată poate fi obținut printr-o experiență complicată. Cel puțin așa gîndim acum. Contemporanii săi, în special cei din propria sa țară, au gîndit însă altfel. Poate tocmai simplitatea rezultatelor obținute era privită de ei cu suspiciune. Ohm a avut mult de suferit în cariera sa, mai ales din cauză că valoarea lucrărilor sale nu era recunoscută. Este meritul Angliei — și în special al Societății Regale — că opera lui a primit consacrarea cuvenită. El este astăzi unul din marii savanți al căror nume este scris cu literă mică : ohmul a devenit unitatea de rezistență electrică.

De ce îl considerăm pe Faraday cel mai mare dintre experimentatori ? În definitiv, nu a fost decît o verigă într-un șir de oameni mari. Motivul este că pe cînd ceilalți — Coulomb, Galvani, Oersted, Arago, Ampère — au avut fiecare cîte o contribuție izolată, contribuțiile aduse de Faraday au fost multiple. Cînd începea să se ocupe de o problemă, el avea darul de a ști care sînt punctele-cheie în problema de care se ocupa. Chiar și atunci cînd nu făcea decît să meargă pe urmele a ceea ce realizaseră alții — așa cum vom vedea în cazul electrolizei —, contribuția sa era de o însemnătate fundamentală. Avea un instinct infailibil pentru îmbinarea elementelor esențiale ale unei probleme, făcînd apoi

Scanned with CamScanner

din ele un tot unitar. Şi cu toate că nu era matematician, el putea — după cum vom vedea — să dea altora imboldul necesar de a atinge culmi de activitate teoretică.

Raporturile dintre Faraday şi Ampère sînt interesante. Faraday era prin excelenţă experimentator, iar Ampère un remarcabil teoretician. Ei şi-au scris lungi scrisori despre progresele realizate în lucrările lor, dar nici unul din ei nu pare să fi fost influenţat de ideile celuilalt. Le era suficient să-şi aştearnă ideile pe hîrtie. Nu aveau nevoie de aprecierea celuilalt. Era ca şi cum fiecare din ei ar fi scris într-o limbă pe care celălalt n-o putea înţelege — nu e, firește, vorba de engleză şi franceză, ci de experienţă şi teorie.

Amîndoi şi-au propus să găsească o relaţie între magnetism şi electricitate : dacă electricitatea produce magnetism, magnetismul ar trebui să producă electricitate. Dar după scurt timp Ampère a renunţat şi a încercat chiar să-l convingă pe Faraday să procedeze la fel. Raţionamentul său a fost în bună parte metafizic. „În felul acesta — spunea el — ai pune în legătură două lucruri eterogene, cînd de fapt acţiunea fundamentală ar trebui, în mod necesar, să aibă loc între două entităţi de aceeaşi natură, cum ar fi două elemente de curent". Mîndria de care era pătruns ca urmare a propriei sale reuşite — atracţia dintre curenţii paraleli — l-a împiedicat să vadă posibilităţile altora.

Dar Faraday ştia că *există* ceva ce trebuie găsit şi acest ceva l-a căutat timp de unsprezece ani. Căutarea a fost, firește, intermitentă ; avea o mulţime de alte probleme care îl preocupau. Lucrările sale au fost mult îngreunate de lipsa unor materiale

Scanned with CamScanner

sau piese, ca, de pildă, sîrmă izolată, lucru care pentru noi este astăzi ceva de la sine înţeles. Mai mult chiar, era obligat să-şi confecţioneze singur majoritatea aparatelor ; multe dintre ele nu erau de ajuns de sensibile pentru a înregistra efectele mici pe care le căuta. Uneori găsea montajul necesar pentru a reuşi, dar, cum nu se aştepta la efecte instantanee, nu acţiona suficient de rapid pentru a le observa. Şi alţii au comis aceeaşi greşeală. In 1825 Colladon (1802—1893) a efectuat o experienţă ce avea şanse de reuşită. Dar pentru a avea certitudinea că puternicul magnet pe care-l folosea nu-i va influenţa galvanometrul, el l-a instalat pe acesta din urmă într-o altă încăpere. Pînă să ajungă la galvanometru pentru a efectua citirea — lucru pe care l-a făcut fără grabă *(sans me presser)* —, mişcarea acestuia încetase. Uneori prea multă precauţie strică.

S-ar putea scrie multe despre lucrările lui Faraday, căci ţinea un jurnal bine documentat. Ne vom limita însă să consemnăm numai rezultatul său final, obţinut în 1831 — unsprezece ani după descoperirea făcută de Oersted. Ajunsese la concluzia că efectul nu putea fi detectat decît dacă era mult amplificat. Construirea unor electromagneţi foarte puternici era posibilă. Atunci de ce să nu se producă efecte magnetice pe cale electrică şi să se încerce detectarea efectelor electrice pe acelaşi miez de fier ? Şi-a procurat un inel din fier moale — de circa 2 cm grosime şi 15 cm în diametru — şi pe jumătatea inelului a bobinat multe spire din sîrmă de cupru (fig. 36). Circuitul uneia dintre bobine era completat cu o sîrmă care trecea peste acul mobil al unei busole, aşezat suficient de departe pentru a nu fi influenţat

Scanned with CamScanner

de fenomenele magnetice produse în inel. Prin cealaltă bobină trecea curentul unei baterii alcătuite din zece perechi de plăci.

Era un dispozitiv foarte simplu şi cu un detector destul de puţin sensibil. Faraday dispunea de galvanometre mult mai bune, dar nu era probabil mai optimist în privinţa rezultatului acestei experienţe decît fusese cu ocazia numeroaselor experienţe efectuate înainte, de aceea a ales mijloacele cele mai simple pentru a porni. Dacă se dovedea necesar, putea folosi ulterior dispozitive mai sensibile, dar curînd şi-a dat seama că nu era necesar. Cînd circui-

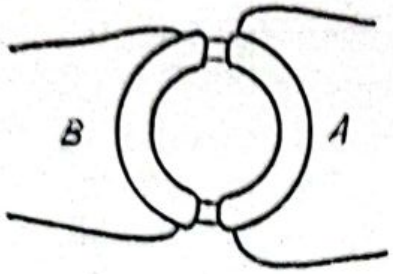


Fig. 36. Schiţa desenată de Faraday, reprezentînd bobina cu ajutorul căreia a descoperit inducţia electromagnetică.

tul era închis, acul oscila şi apoi revenea la zero ; cînd se întrerupea curentul, acul oscila din nou. Faraday găsise ce căutase.

O observare mai atentă a arătat că arcul era deviat iniţial într-o direcţie la conectarea curentului şi în cealaltă direcţie la întreruperea acestuia. Efectul era destul de pronunţat — Faraday spunea că dacă bateria ar fi avut 100 de perechi de plăci, acul busolei s-ar fi rotit de patru sau cinci ori.

Scanned with CamScanner

A putut chiar obţine o mică scînteie. A vrut să vadă dacă nu s-ar produce acelaşi efect cu un magnet obişnuit ; a confecţionat o spirală de sîrmă şi a aşezat în interiorul ei o bucată de fier moale, folosind două bare magnetice, fiecare de aproximativ 60 cm lungime şi constituind astfel un circuit magnetic (fig. 37). Prin deconectarea şi conectarea acestui circuit se obţinea de asemenea o deviere a acului de busolă.

Toate aceste efecte erau trecătoare ; curenţii staţionari nu produceau asemenea efecte. Acest lucru

Fig. 37. Schiţa lui Faraday reprezentînd instalaţia cu care a demonstrat că modificarea cîmpului magnetic generează o forţă electromotoare.

explica de ce un număr atît de mare de experienţe nu a avut succesul scontat. Astăzi ştim de ce se petreceau astfel lucrurile. Vestea despre experienţele sale s-a răspîndit foarte repede — în bună parte deformată. Ampère pretindea că fenomenul este evident şi poate fi dedus din teoria sa electrodinamică. De altfel, el susţinea că, împreună cu de la Rive, descoperise acest efect încă din 1822. Dar afirmaţiile lui nu aveau o bază serioasă şi nimeni nu se mai îndoieşte astăzi că cinstea de a fi descoperit inducţia electromagnetică îi revine lui Faraday.

De fapt, dacă s-ar pune chestiunea unui pretendent cu oarecare îndreptăţire, acela ar fi americanul Henry (1797—1878). El a descoperit inducţia elec-

Scanned with CamScanner

tromagnetică în mod independent, dar nu-şi publicase încă rezultatele în momentul cînd descoperirea lui Faraday a fost anunţată. Tot Henry a descoperit şi fenomenul autoinducţiei, adică tensiunea indusă în bobina însăşi la pornirea şi oprirea curentului.

Au fost găsite numeroase aplicaţii pentru inducţia electromagnetică. Aparatul conceput iniţial de Faraday stă la baza bobinei de inducţie ; folosind un mic număr de spire din sîrmă groasă pe una din jumătăţi şi un număr mare de spire din sîrmă subţire pe cealaltă jumătate, se pot obţine tensiuni mult mai mari. Dacă dispunem de un dispozitiv de întrerupere repetată a curentului, putem obţine o succesiune de tensiuni înalte şi putem genera un şir impresionant de scîntei. Dacă curentului din prima bobină — primarul — i se schimbă sensul la intervale regulate, se obţine un curent variabil cu aceeaşi frecvenţă, dar de tensiune diferită în cea de-a doua bobină — secundarul. Acesta este principiul de bază al transformatorului care se foloseşte pentru a transforma în reţelele noastre de energie electrică curentul alternativ de la o tensiune electrică la alta. Tensiunea trebuie să fie înaltă pentru transportul energiei şi joasă pentru securitatea în folosire. Uşurinţa cu care se face această transformare este principalul motiv al adoptării sistemelor cu curent alternativ pentru distribuţia electrică.

Dar în această carte ne ocupăm de dezvoltarea fizicii ca atare, nu de aplicaţiile ei. Au contribuit oare descoperirile lui Galvani, Oersted şi Faraday la lărgirea cunoştinţelor fizice despre natură ? Fără îndoială că da. Ultimele capitole ale prezentei cărţi vor arăta cum fenomenele electrice şi mecanice au început să domine întregul domeniu al fizicii. Dar

Scanned with CamScanner

pentru moment ne vom mărgini să menţionăm trei descoperiri, toate trei făcute de Faraday.

Două dintre ele sînt foarte asemănătoare — descoperirea paramagnetismului şi a diamagnetismului. În anii 1840—1850 s-a ajuns să se construiască electromagneţi foarte puternici, iar constructorii se concurau între ei în privinţa greutăţii pe care magneţii lor le puteau ridica. Faraday nu avea însă asemenea preocupări — el prefera să caute fenomene noi. De aceea a încercat să afle dacă cu ajutorul acestor noi magneţi puternici puteau fi depistate proprietăţi magnetice în materiale considerate a fi nemagnetice.

O cercetare de acest fel nu e lucru uşor. Fierul este atît de precumpănitor în materie de magnetism, încît prezenţa unei urme de fier într-un material îi poate modifica total proprietăţile. În consecinţă, a trebuit să fie deosebit de meticulos în privinţa purităţii materialelor folosite. A constatat că numeroase materiale erau slab feromagnetice. Dar cînd a suspendat o bară din sticlă cu bor şi plumb între polii unui electromagnet, bara a luat o poziţie transversală faţă de direcţia cîmpului magnetic, adică perpendiculară pe direcţia pe care ar fi luat-o o bară de fier. Faraday a verificat cu multă grijă dacă acţiunea nu se datora cumva suspensiei folosite sau vreunei poziţii întîmplătoare a barei în cîmpul magnetic. În urma acestei verificări s-a convins că descoperise o nouă proprietate magnetică care determină materia să se deplaseze spre regiunile *mai slabe* ale cîmpului magnetic. El a denumit fenomenul *diamagnetism*. A constatat că toate materialele sînt magnetice, comportîndu-se fie ca sticla de plumb — fiind deci diamagnetice —, fie ca fierul, în care caz

Scanned with CamScanner

erau denumite paramagnetice. Feromagnetismul este o formă extremă a paramagnetismului.

A treia descoperire avea un caracter mult mai neobişnuit. Nu este uşor de priceput cum de a ajuns Faraday să o realizeze, dacă nu datorită neobositelor sale căutări de relaţii între diferitele domenii ale fizicii. Este vorba de descoperirea sa din 1845, şi anume că un cîmp magnetic poate provoca rotaţia planului de polarizare a unui fascicul de lumină polarizată.

Am văzut cum s-a demonstrat că lumina trebuie să fie o vibraţie transversală, dar nimeni nu ştia ce anume vibrează. S-a vorbit mult despre un „fluid subtil" căruia i se dăduse denumirea de „eter". Dar denumirile nu rezolvă problemele şi trebuie întotdeauna să ne ferim de iluzia că am înţeles un fenomen pentru că i-am dat un nume. Ideea lui Faraday era mult mai raţională. Există oare o legătură între lumină şi alte manifestări fizice ? Dacă am încerca cu magnetismul ?

El a conceput următoarea experienţă : a trecut un fascicul de lumină polarizată — prin trecerea printr-o prismă Nicol — între polii celui mai mare electromagnet pe care-l avea la dispoziţie şi a încercat să vadă — folosind o altă prismă Nicol drept analizor — dacă gradul de polarizare suferă vreo modificare cînd curentul trece prin electromagnet. Nu s-a produs nici un efect. A încercat atunci să pună o bucată de sticlă de plumb între poli ; din nou nu a observat vreun efect. A fost însă corect aplicat cîmpul ? Nu ar trebui acesta să fie pe direcţia fasciculului de lumină ? Evident, acest lucru nu putea fi efectuat cu un singur electromagnet, deoarece piesele lui polare ar constitui un obstacol ;

Scanned with CamScanner

în consecinţă a folosit doi electromagneţi (fig. 38). De astă dată a constatat un efect. Gradul de polarizare era în mod clar redus.

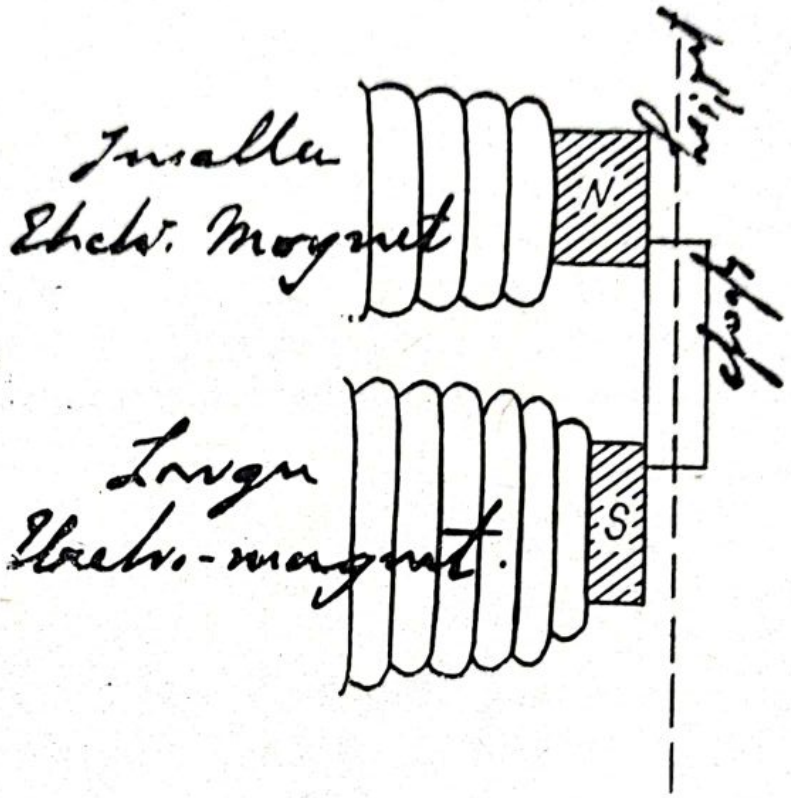


Fig. 38. Schiţa aparatului conceput de Faraday pentru a arăta că atunci cînd lumina plan-polarizată trece printr-o sticlă de plumb într-un cîmp magnetic, planul de polarizare se modifică. *Sus:* electromagnetul mic; *jos:* electromagnetul mare; linia întreruptă indică direcţia planului de polarizare.

Concluzia aceasta nu era întru totul satisfăcătoare, dar constituia totuşi o indicaţie. Faraday a împrumutat un electromagnet mai puternic şi a făcut o nouă încercare cu mai multe bucăţi de sticlă. Una dintre acestea, cu feţele bine lustruite, a dat naştere unui „efect splendid": dacă prisma Nicol stingea lumina polarizată atunci cînd nu trecea cu-

Scanned with CamScanner

rent, la pornirea curentului lumina reapărea ; ea putea fi din nouă stinsă printr-o rotire a prismei Nicol într-o altă direcţie. Faraday a constatat astfel că aplicarea unui cîmp magnetic are drept efect rotirea planului de polarizare a luminii incidente.

Acest efect este remarcabil, deoarece nu exista nici un motiv evident pentru a bănui vreo legătură între magnetism şi lumină. Şi totuşi, legătura exista ; dar importanţa ei avea să devină evidentă abia cu aproape douăzeci de ani mai tîrziu, cu puţin înainte de moartea lui Faraday, cînd Clerk Maxwell a pus bazele teoriei electromagnetice a luminii.

Scanned with CamScanner

9
Radiația

Capitolele precedente s-au ocupat de ceea ce s-ar putea numi „fizica evidentă". Folosesc cuvîntul „evident" nu pentru a insinua că *oricine* ar fi putut observa fenomenele fizice, ci numai pentru a arăta că existau fenomene care așteptau să fie explorate fără ca aceasta să necesite mult timp și mari cheltuieli. Există însă fenomene pe care le putem observa numai dacă le vom căuta ?

Această întrebare servește drept introducere la prezentul capitol, deoarece studiul radiației necesită un element primordial — lumina. Astăzi știm că lumina vizibilă nu reprezintă decît o parte aproape infinitesimală a unui spectru mult mai larg. Dar tocmai datorită faptului că era cunoscută existența acestei mici părți au putut fi descoperite alte tipuri de radiație, cu proprietăți ciudate, care, la rîndul lor, au putut fi folosite pentru realizarea de noi

Scanned with CamScanner

progrese în domeniul fizicii. Pentru a găsi însă aceste tipuri de radiaţie a fost nevoie de eforturi mult mai mari. Dealtfel, pentru toate realizările succesive din diferitele domenii ale fizicii au fost necesare eforturi, şi pe măsură ce fizica progresează eforturile cerute sînt tot mai mari. Această afirmaţie poate fi foarte bine exemplificată prin descoperirea altor tipuri de radiaţii care însoţesc lumina vizibilă.

Prima descoperire a fost făcută în 1777, cînd Scheele (1742—1786) a cercetat acţiunea diferitelor culori ale spectrului asupra clorurii de argint. Această sare îşi schimbă culoarea din alb în purpuriu cînd este expusă luminii solare şi Scheele dorea să afle dacă vreuna din părţile spectrului are un rol special în determinarea acestei schimbări. El a constatat că acţiunea creştea pe măsură ce ne apropiem de extremitatea violetă a spectrului. Wollaston a dovedit că, de fapt, acţiunea se extindea şi în partea spectrului situată dincolo de violet. În 1842, A. E. Becquerel (1820—1891) a „fotografiat" spectrul ultraviolet, expunînd acţiunii acestuia hîrtie îmbibată cu clorură de argint şi a pus în evidenţă existenţa a numeroase linii Fraunhofer.

Cercetarea spectrului ultraviolet era limitată de proprietăţile prismelor folosite pentru dispersarea luminii. Deşi sticla este transparentă pentru lumina vizibilă, ea nu este în mod necesar transparentă pentru ultraviolet. Reţeaua de difracţie-reflexie oferă posibilitatea de a se ocoli această dificultate şi acum este cunoscută şi folosită o bandă considerabilă de radiaţie ultravioletă.

Cum stau însă lucrurile la cealaltă extremitate a spectrului ? Radiaţiile din acest domeniu au oare proprietăţi care să permită detectarea lor ? Pro-

Scanned with CamScanner

blema a fost rezolvată în 1800, cînd Herschel, pe care-l interesa puterea calorică a diferitelor culori din spectru, a făcut ca un asemenea spectru să cadă pe rezervorul înnegrit al unui termometru sensibil. El a constatat că efectul caloric creşte treptat spre capătul roşu al spectrului şi că această creştere continuă dincolo de roşu : a descoperit spectrul infraroşu.

În 1840 Herschel a conceput o metodă de „fotografiere" a spectrului solar privit sub aspectul puterii calorice. A tratat o bandă de hîrtie cu gumă şi negru de fum pentru a o face în cît mai mare măsură absorbantă de căldură. Banda de hîrtie a fost apoi înmuiată în alcool şi expusă spectrului. Acolo unde se recepţiona cea mai mare căldură, alcoolul se evapora mai repede şi spectrul putea fi văzut sub forma unor umidităţi diferite. Fotografia obţinută nu era nici foarte bună şi nici stabilă, dar constituia un exemplu remarcabil de ceea ce poate realiza un experimentator ingenios atunci cînd e însufleţit de dorinţa de a obţine un rezultat. În felul acesta Herschel a descoperit linii Fraunhofer situate în infraroşu.

Ştiind că spectrul solar se extinde dincolo de cele două extremităţi ale părţii sale vizibile, putem presupune că el merge destul de departe. Nu avem nici un motiv să credem că există în general vreo limită a acestei extinderi. Deoarece am văzut însă că cele trei proprietăţi — lumină, căldură, acţiune chimică — corespund anumitor părţi ale spectrului, sîntem interesaţi să ştim ce alte proprietăţi ar putea fi folosite pentru noi investigaţii. Aşa cum se întîmplă adeseori în fizică, răspunsul a venit dintr-o cu totul altă direcţie.

Scanned with CamScanner

La sfîrşitul capitolului precedent am văzut că Faraday a demonstrat existenţa unei relaţii între lumină şi magnetism. Experimentul amintit, ca şi altele pe care le-a efectuat, l-au determinat să mediteze asupra naturii undelor luminoase ; dar fiind prin excelenţă experimentator, nu avea obiceiul să scrie lucrări teoretice şi nici nu dorea să se angajeze aşternîndu-şi opiniile pe hîrtie. Prilejul de a o face s-a ivit însă într-un mod cu totul neaşteptat şi destul de amuzant.

Wheatstone — care a dat numele său cunoscutei „punţi" — a fost invitat să ţină o „conferinţă de vineri seara" la Institutul Regal, al cărui director era pe atunci Faraday. Aceste conferinţe se bucurau — şi continuă să se bucure — de un mare prestigiu, iar Wheatstone era de-a dreptul copleşit de emoţie. Aşa se face că la ora cînd trebuia să-şi ţină conferinţa nu a putut fi găsit. Faraday, care avea însemnările lui Wheatstone, s-a văzut obligat să ţină el conferinţa în locul acestuia. Cum se întîmplă adesea cînd se folosesc însemnările altuia.. conferinţa a fost foarte scurtă şi Faraday s-a hotărît să completeze timpul programat prezentînd cîteva din propriile sale idei. A vorbit despre concepţiile sale cu privire la natura luminii. Asistenţa a fost puternic impresionată şi Faraday s-a lăsat convins să scrie un articol pentru *Philosophical Magazine*. Articolul purta titlul *Thoughts on ray vibrations* (Reflecţii despre vibraţiile razelor) şi a fost publicat în 1846.

În acest articol Faraday s-a ocupat de natura vibraţiilor care constituie lumina. El se întreba dacă nu cumva ele sînt înrudite cu forţele de coeziune dintre atomi, ceea ce ne-ar putea dispensa de con-

Scanned with CamScanner

ceptul de eter. El şi-a continuat raţionamentul: „două corpuri, *A* şi *B*, distanţate între ele, aflate în interacţiune şi deci legate prin linii de forţă... dacă unul din ele se deplasează oricît de puţin spre dreapta sau spre stînga sau dacă forţa lui este pentru o clipă deplasată în interiorul masei (nici unul din cazuri nu este greu de realizat dacă *A* şi *B* sînt corpuri magnetice sau electrice), atunci în rezultanta de care ne ocupăm aici va avea loc un efect echivalent cu o perturbare laterală". Cu alte cuvinte, *el se întreba dacă liniile de forţă* — noţiune introdusă de el şi pe care de atunci încoace fizicienii au găsit-o utilă — *nu ar putea transmite unde, într-un mod analog cu corzile întinse.*

Această idee i-a sugerat lui Maxwell (1831—1879) să cerceteze problema mai în adîncime; fiind un mare matematician, era capabil să transpună ideile lui Faraday în limbaj matematic. Într-un articol publicat în 1864 — cu trei ani înainte de moartea lui Faraday —, Maxwell a arătat că genul de perturbare pe care l-a avut în vedere Faraday poate duce la generarea unei unde şi că aceasta s-ar propaga cu o viteză finită. Mărimea vitezei depinde de constantele din ecuaţiile lui Coulomb pentru forţele electrostatice şi magnetice.

Există o oarecare dificultate de a şti exact ce anume se înţelege prin constantele forţelor din ecuaţiile lui Coulomb. Multe manuale consideră atît constanta magnetică cît şi cea electrică egale cu unitatea. În felul acesta avem două sisteme de unităţi. Sistemul în care se ia în considerare forţa ce se exercită între două sarcini electrice se numeşte electrostatic, iar cel în care se ia în considerare forţa ce se exercită între doi curenţi formează un altul, elec-

Scanned with CamScanner

tromagnetic. Cum însă curenţii nu sînt decît sarcini mobile, între cele două sisteme trebuie să existe o relaţie. Maxwell şi-a dat seama de acest lucru şi în 1868 a găsit relaţia pe cale experimentală. El a fost un excelent experimentator, dublat de un excelent teoretician.

Metoda sa constă în egalarea forţei de atracţie între două plăci între care era aplicată o tensiune înaltă şi a forţei de respingere între două bobine prin care curentul trecea în sensuri opuse. O schiţă a aparatului său este prezentată în figura 39. Tensiunea înaltă era produsă de „marea baterie a domnului Gassiot", formată din 2 000 de celule, şi era măsurată prin trecerea curentului din baterie printr-o rezistenţă de o valoare precis cunoscută, de aproximativ 1 megohm, galvanometrul avînd un şunt variabil. Galvanometrul avea încă o bobină prin care trecea curentul de la bobinele ce se respingeau între ele. Pentru a detecta orice alterare a echilibrului, ansamblul mobil placă-bobină era fixat pe braţul unei balanţe de torsiune. Experienţa consta în a modifica distanţa dintre plăci pînă cînd balanţa de torsiune indica o stare de echilibru, variindu-se apoi şuntul galvanometrului pînă cînd pe galvanometru se obţinea citirea zero. Pentru o şi mai mare precizie, placa mobilă avea un inel de gardă fix, iar un alt set de bobine, aşezat la capătul opus al braţului balanţei de torsiune, elimina orice efect provocat de cîmpul magnetic al Pămîntului.

Au fost efectuate douăsprezece serii de citiri cu distanţe între plăci variind între 1,2 şi 2,5 cm, obţinîndu-se un rezultat mediu de $2{,}779 \times 10^{10}$ cm·s^{-1}. Anterior, în 1856, Weber şi Kohlrausch efectuaseră aceeaşi măsurătoare printr-o metodă diferită,

Scanned with CamScanner

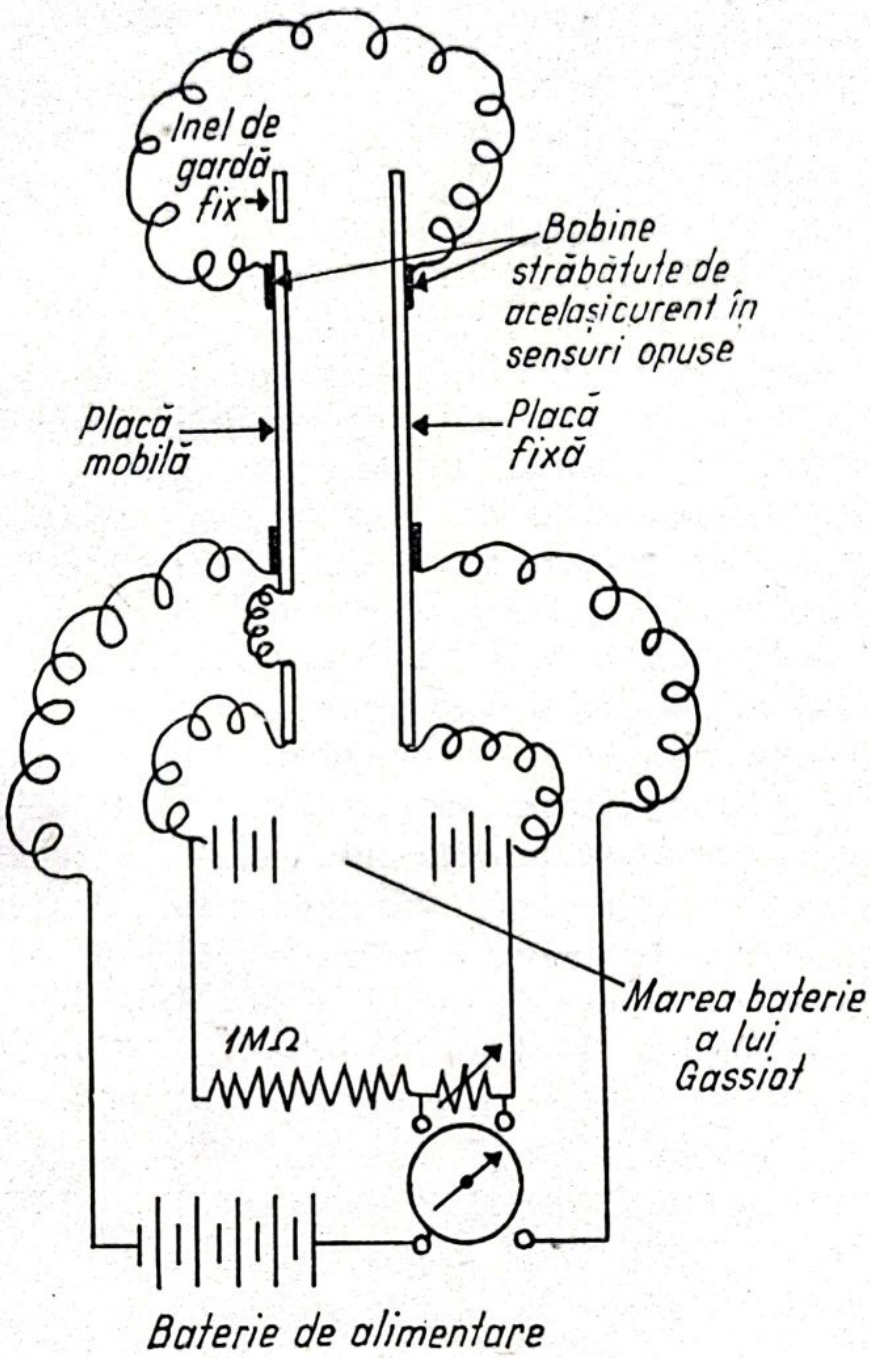


Fig. 39. O schiţă a aparatului folosit de Maxwell în prima experienţă efectuată de el pentru determinarea relaţiei dintre unităţile electrostatice şi cele electromagnetice.

Scanned with CamScanner

fără să-şi dea însă seama de importanţa ei teoretică ; rezultatul lor a fost de $3{,}107 \times 10^{10}$ cm·s^{-1}. Deoarece Foucault obţinuse pentru viteza luminii valoarea de $2{,}980 \times 10^{10}$ cm s^{-1}, Maxwell a conchis că teoria sa are o fundamentare cantitativă.

Faptul că fusese descoperită natura luminii a deschis o cale complet nouă pentru căutarea altor tipuri de radiaţii. Dat fiind că lumina era de natură electromagnetică, putea fi oare radiaţia produsă în mod direct ? Putem noi produce o radiaţie — pentru a da curs sugestiei lui Faraday — prin simpla deplasare a unui magnet sau a unei sarcini electrice ? După generare, impulsurile ar trebui să se propage de-a lungul liniilor de forţă. Pentru a produce o undă continuă ar trebui să i se imprime sursei o mişcare oscilatoare — şi aici ne lovim de prima dificultate. Chiar şi în cazul celor mai înalte frecvenţe pe care le-am putea obţine pe cale mecanică — de pildă cu ajutorul unui diapazon — lungimea de undă va fi mult prea mare pentru a putea fi măsurată. Viteza este produsul dintre frecvenţă şi lungimea de undă ; pentru o viteză de 3×10^{10} cm·s^{-1} şi o frecvenţă de 10^4 s^{-1}, lungimea de undă este de 30 km.

Era necesară o altă cale pentru generarea vibraţiilor şi baza necesară fusese găsită de Henry sub forma unui efect expus de el în 1842. Este vorba de descoperirea naturii oscilatorii a descărcării unui condensator. Pe atunci el nu şi-a dat, firește, seama de importanţa descoperirii sale şi a prezentat-o doar ca pe unul din punctele unei dări de seamă asupra lucrării sale din care făcea parte descoperirea independentă a legilor inducţiei electromagnetice.

Scanned with CamScanner

Henry a continuat o lucrare efectuată de Savary, care în 1826 observase că, dacă o butelie de Leyda se descarcă printr-o spirală conţinînd cîteva ace de oţel, acele se magnetizează ; acest fenomen furniza o nouă dovadă că curenţii electrici reprezintă sarcini electrice în mişcare. Dar, spre surprinderea lui, acele nu erau toate magnetizate în acelaşi sens. Acest lucru nu mai era de înţeles. Dacă sarcina trece de la condensator prin bobină, ea ar trebui să magnetizeze toate acele, întocmai ca şi cum ar fi fost plasate într-o bobină străbătută de un curent.

La început încercarea lui Henry de a repeta observaţiile lui Savary nu a fost încununată de succes ; el a constatat că *toate* acele sale erau magnetizate în acelaşi fel. De unde putea proveni deosebirea dintre experienţa sa şi cea efectuată de Savary ? Să fi fost oare de vină dimensiunile acelor ? Henry a repetat experienţa cu ace mult mai fine şi a avut succes. Au putut fi observate diferite direcţii de magnetizare. Efectul era deci real, dar explicaţia nu era deloc evidentă. Pînă la urmă Henry a găsit explicaţia corectă : descărcarea unui condensator nu se face în mod continuu, cum e scurgerea apei dintr-un urcior, ci are un caracter oscilatoriu. Sarcinile electrice se scurg prin bobină de la o armătură a condensatorului la alta, dar nu se opresc la echilibru, ci încarcă condensatorul în sens invers ; apoi condensatorul acesta se descarcă, generînd un curent în sens invers, şi aşa mai departe. Va avea, firește, loc şi o descreştere treptată, aşa încît în cele din urmă operaţia de descărcare va lua sfîrşit.

Dar în ce mod concordă această explicaţie cu constatările făcute experimental ? Prima descărcare va fi cea mai puternică şi îşi va lăsa amprenta pe

Scanned with CamScanner

toate acele. Este ceea ce se întîmplă cu acele mari. În cazul acelor mici însă, ar trebui să existe o limită a magnetizării, şi această limită ar putea fi inferioară magnetizării produse de prima descărcare în sens invers. Această a doua descărcare nu ar produce numai o magnetizare a acelor, ci şi o remagnetizare a lor în sens opus. Aceasta era explicaţia dată de Henry observaţiilor sale şi a constituit baza teoriei sale că descărcarea este oscilatorie. Din această explicaţie simplă a rezultat o concluzie importantă — o concluzie care nu a dus numai la noi concepţii în fizică, ci a deschis şi o nouă eră în domeniul comunicaţiilor.

A fost deci găsită o metodă de a se obţine variaţii rapide ale sarcinii electrice, făcînd posibilă producerea unor unde de felul celor prezise de Faraday şi Maxwell. Cît de des vor fi fost produse ele de oameni care descărcau butelii de Leyda fără să dispună însă de aparatura necesară pentru detectarea lor şi nici de clarviziunea pentru a înţelege ce se întîmplă ?

Omul care a realizat primul această metodă a fost Hertz (1857—1894). Oricine a folosit un aparat de înaltă tensiune ştie cu cîtă uşurinţă se pot produce scîntei între piese metalice învecinate avînd aparent acelaşi potenţial. Şi înaintea lui Hertz unii oameni observaseră acest efect, dar nu încape îndoială că Hertz a fost cel care a înţeles întru totul semnificaţia fenomenului şi l-a cercetat în mod atît de aprofundat încît în privinţa justeţei teoriei lui Maxwell nu a mai rămas nici un dubiu.

Fiindcă unele dubii existaseră. Impresia generală era că Maxwell este un tînăr ager la minte care reuşise doar unele formulări matematice elegante ;

Scanned with CamScanner

dar mulţi erau de părere că ele nu aveau vreo însemnătate pentru fizică. Hertz era însă de altă părere, deşi afirma că teoria lui Maxwell este greu de înţeles. El cunoştea rezultatele obţinute de Henry, dar a ajuns la concluzia că undele rezultate dintr-o descărcare sînt prea slabe pentru a putea fi detectate. Cu prilejul pregătirii unor prelegeri asupra acestei chestiuni, el a descoperit experimental un fapt care l-a determinat să cerceteze mai

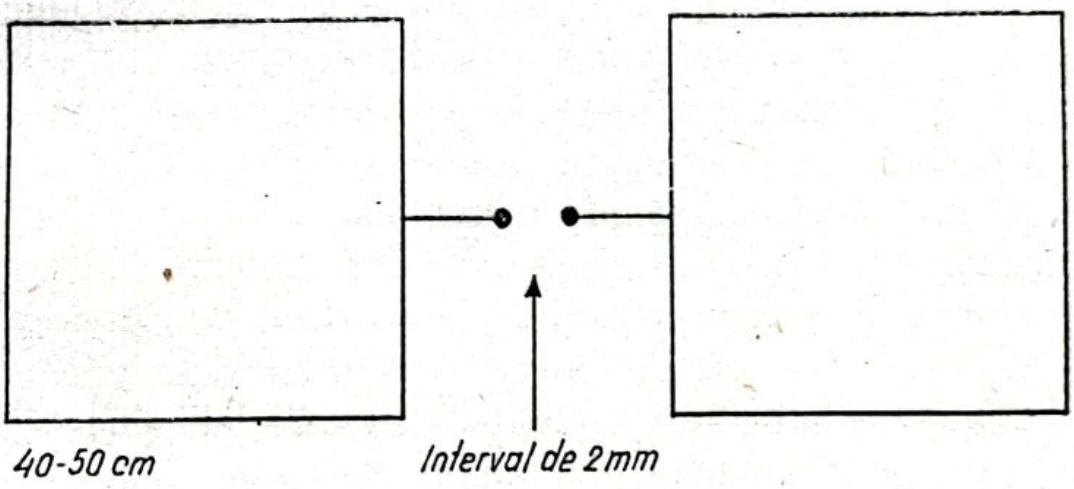


Fig. 40. Oscilatorul lui Hertz.

aprofundat dacă scînteile dintre conductorii învecinaţi sînt mai puternice atunci cînd butelia de Leyda este mai mică. Ce s-ar întîmpla dacă ar confecţiona un condensator cu adevărat mic pentru a vedea dacă efectele sînt în acest caz puternice ? El a construit un oscilator, aşa cum se vede în figura 40, folosind plăci de zinc cu latura de aproximativ 40 cm, bine separate una de alta. Dispozitivul a funcţionat foarte bine, producînd cu uşurinţă scîntei între conductorii învecinaţi.

Nici acum însă Hertz nu a sesizat întreaga importanţă a experienţei sale. El credea că perturbaţia

Scanned with CamScanner

va fi prea turbulentă şi neregulată pentru a-i permite o cercetare concludentă. Considera că nu realizase decît un „zgomot" electric. Faptul care l-a determinat să-şi continue totuşi investigaţia era următorul : găsise un conductor de la al cărui capăt putea obţine scîntei, dar nu şi de la mijlocul lui. De fapt, descoperise un „nod". Atunci şi-a dat seama că se află în faţa unui „fenomen clar şi ordonat". Realizase efectiv o undă pură şi nu un simplu zgomot, cum se aşteptase. Primele sale încercări de a face experienţe cu aceste unde nu au avut succes ; lungimea de undă era de 4—5 m şi Hertz şi-a dat seama imediat că părţile componente ale aparatului său erau mult mai mici decît această lungime, astfel încît nu recepţiona decît o radiaţie împrăştiată. În consecinţă, a redus dimensiunile oscilatorului pentru a obţine o lungime de undă de 40—50 cm, şi acum totul a funcţionat perfect. Schiţele aparatului, desenate chiar de el, sînt prezentate în figura 41. Se poate vedea oscilatorul în focarul unei oglinzi parabolice, precum şi un dispozitiv similar, funcţionînd ca detector şi producînd scîntei la eclatorul acestuia.

În 1888 Hertz a publicat un articol în care prezenta o succesiune de rezultate cu totul deosebite. El a demonstrat propagarea rectilinie a undelor, arătînd că un ecran metalic oprea scînteile, în timp ce un izolator — o uşă de lemn, de exemplu — nu le oprea. Prin rotirea cu 90° a unei oglinzi el a arătat că undele sînt polarizate şi deci transversale. A demonstrat reflexia lor cu ajutorul unei plăci mari de zinc, deşi faptul că folosise cu succes oglinzi dovedise deja această proprietate. El a obţinut refracţia undelor printr-o prismă din

Scanned with CamScanner

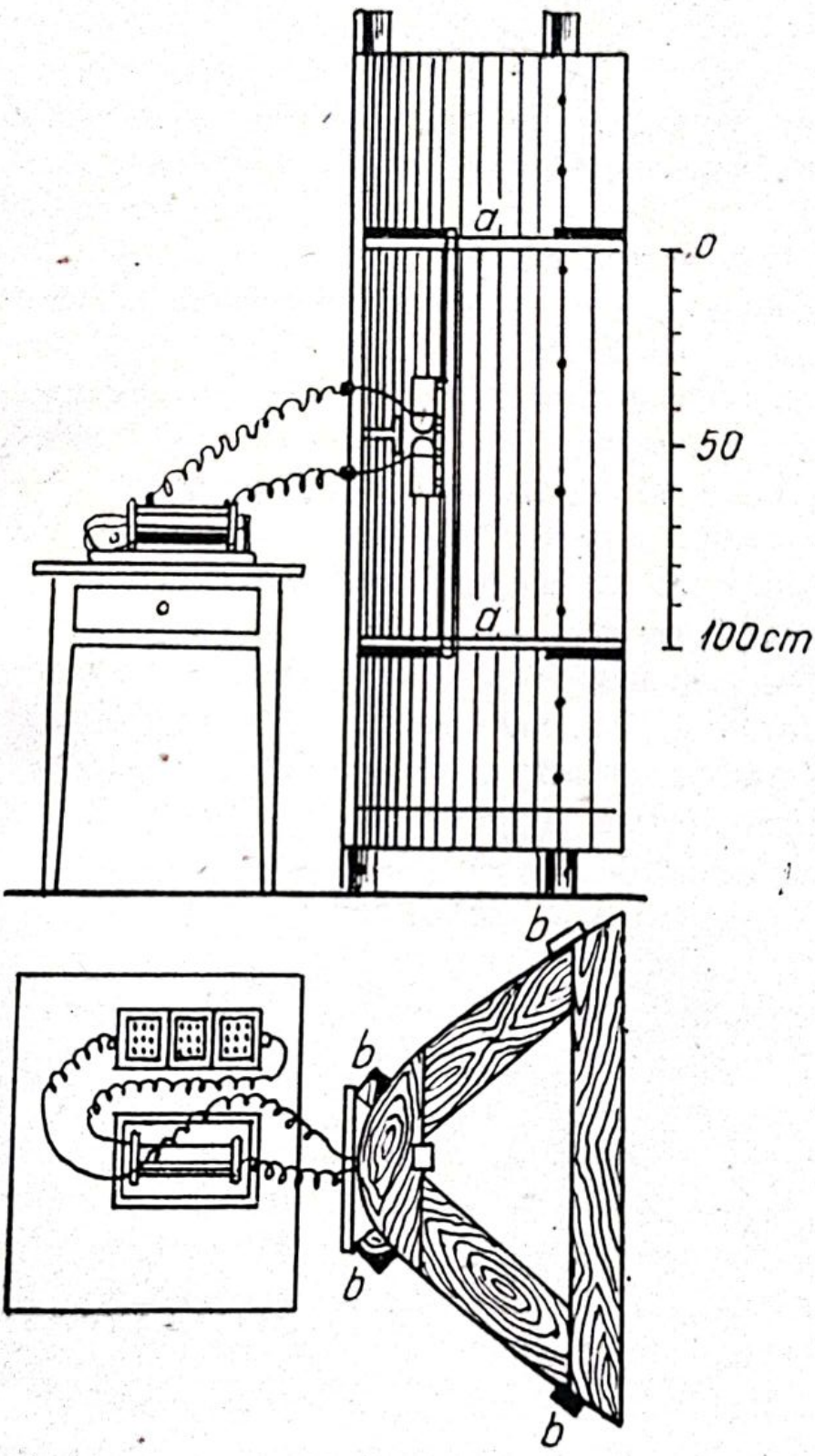


Fig. 41. Sursa folosită de Hertz pentru a cerceta proprietăţile undelor electromagnetice.

Scanned with CamScanner

smoală solidă şi a constatat un indice de refracţie de circa 1,7.

Ce clipe minunate trebuie să fi trăit ! Nu multora le este dată satisfacţia de a obţine printr-o singură experienţă atîtea rezultate valoroase. După cum se ştie, el a pus bazele unei noi ramuri a tehnicii — radiocomunicaţiile.

Aşadar spectrul elecotromagnetic s-a extins de la lungimi de undă de miimi de milimetri la lungimi de ordinul metrilor şi al zecilor de metri (undele radio). De atunci au fost produse atît unde mai lungi, cît şi unde mai scurte, iar golurile din spectru au fost umplute. Nu există o diferenţă fundamentală între undele infraroşii mai lungi şi undele radio mai scurte.

Care este însă situaţia la cealaltă extremitate — cea ultravioletă ? Aici descoperirea unor noi radiaţii nu părea tot atît de logică. Ea a fost totuşi făcută sub forma unor radiaţii necunoscute, pînă atunci, radiaţiile X, ale căror proprietăţi erau prea ciudate pentru a fi identificate cu uşurinţă. Natura acestor radiaţii a rămas o enigmă timp de şaptesprezece ani, pînă cînd s-a constatat că sînt radiaţii electromagnetice cu o lungime de undă de circa o mie de ori mai mică decît aceea a luminii.

Pentru a prezenta descoperirea, trebuie să începem prin a ne întoarce cu mulţi ani în urmă, la observaţia efectuată de Picard în 1675, din care reieşea că un barometru cu mercur aşezat într-o cameră întunecată emite în vidul lui Torricelli scurte impulsuri luminoase. Pe atunci nu exista, firește, vreun mijloc de a valorifica această descoperire şi fenomenul a fost, fără îndoială, reobservat de multe ori, fiind apoi abandonat ca o enigmă de nepătruns.

Scanned with CamScanner

Au fost necesare descoperirea inducției electromagnetice de către Faraday și apoi inventarea bobinei de inducție înainte ca fenomenul să poată fi cercetat în mod sistematic. Au fost confecționate tuburi lungi de sticlă și vidate la diferite presiuni ; cînd la capetele acestora se aplica o tensiune înaltă, puteau fi văzute lumini colorate (fig. 42). Aceste tuburi de descărcare, cum au fost denumite, sînt cel mai frumos lucru din fizică. Ele sînt frumoase nu numai ca aspect, dar și prin faptul că au permis rezolvarea altor probleme. Cine ar putea crede afirmația, atît de des repetată, că în momentul cînd au fost confruntați cu acest fenomen fizicienii secolului al XIX-lea erau de părere că epuizaseră aproape toate problemele fizicii ? Numai foarte puțini dintre ei ar fi putut fi atît de săraci cu duhul.

În capitolul ce urmează ne vom ocupa în mod mai detaliat de descoperirile care au decurs din această experiență, desigur una din cele mai fe-

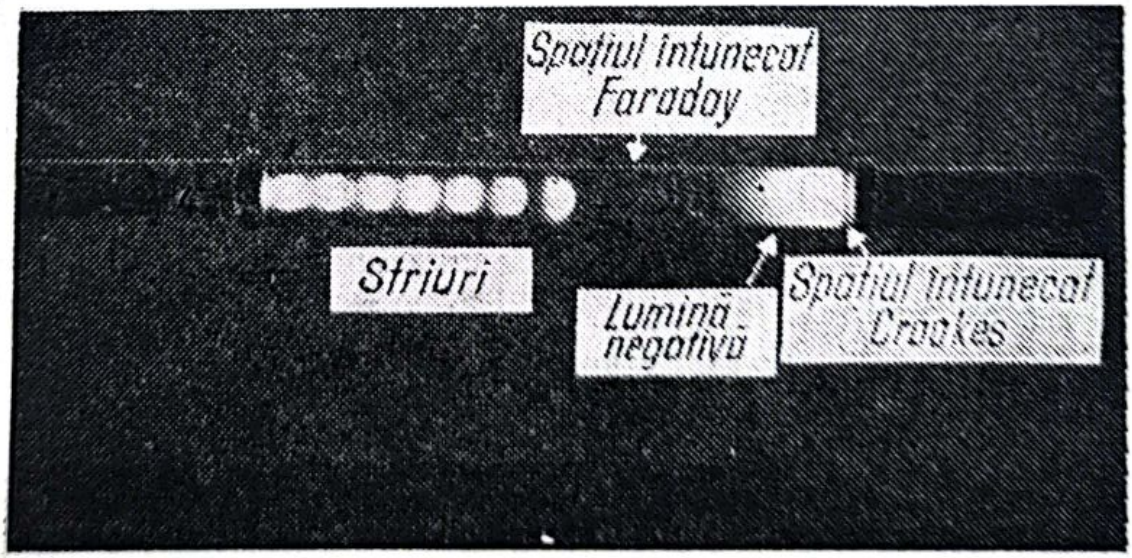


Fig. 42. Descărcarea electrică în aer la presiune joasă. *a*) Spațiul întunecat al lui Faraday ; *b*) Striuri ; *c*) Lumină negativă ; *d*) Spațiul întunecat al lui Crookes.

Scanned with CamScanner

cunde din istoria fizicii. Pentru moment ne vom ocupa numai de o singură observaţie — aceea că, pe măsură ce scădea presiunea, descărcarea devenea tot mai slabă şi imediat înainte de a dispărea, tubul de descărcare se acoperea cu o luminescenţă verde. Ce se întîmplase ?

Trebuie amintit că la sfîrşitul secolului al XIX-lea tubul de descărcare constituia lucrul cel mai pasionant din întreaga fizică şi că majoritatea laboratoarelor din lume făceau experienţe cu acest tub. Un asemenea fenomen nou nu putea să nu ducă la unele rezultate şi cel care — în 1895 — a obţinut primul rezultat a fost Roentgen (1845—1923). Toţi cei ce studiază fizica ar trebui să ţină minte această dată — data apariţiei a ceea ce numim astăzi „fizica modernă". Indiferent cum o vor denumi generaţiile viitoare, schimbarea produsă în ritmul de dezvoltare a fizicii începînd cu această dată va rămîne un fapt remarcabil.

Făcînd experienţe cu un tub de descărcare, Roentgen a observat că atunci cînd se reducea presiunea o cantitate de platinocianură de bariu aflată în imediata apropiere începea să prezinte o puternică fluorescenţă, iar aceasta era mai puternică imediat înainte ca descărcarea să dispară, atunci cînd vidul devenea prea înaintat pentru ca tubul să mai conducă descărcarea. Nu este de mirare că o cantitate din acest compus, care făcea parte din inventarul majorităţii laboratoarelor de fizică, se afla în apropiere ; se ştia că el devine fluorescent la lumina ultravioletă.

Roentgen credea că fluorescenţa era cauzată de lumina ultravioletă din tub şi pentru a-şi verifica această concluzie a aşezat tubul într-o cutie de car-

Scanned with CamScanner

ton negru, confecţionată cu multă grijă. Spre marea sa surprindere, fluorescenţa nu era mai puţin strălucitoare ca înainte. A putut detecta fluorescenţa chiar dacă ecranul se afla la o distanţă de doi metri. Şi-a dat imediat seama că descoperise o nouă formă de radiaţie ce poate trece prin materiale care nu lasă să treacă nici o altă formă de radiaţie, cu excepţia undelor radio.

Majoritatea oamenilor de ştiinţă s-ar fi grăbit să publice o asemenea descoperire. Dar Roentgen s-a gîndit că afirmaţia sa ar produce o impresie mai puternică dacă ar putea să dea şi unele indicaţii cu privire la natura radiaţiilor, măsurînd proprietăţile lor. El a muncit intens, de unul singur, timp de şase săptămîni, încercînd să verifice toate ipotezele ce-i treceau prin minte. S-a convins că radiaţiile veneau din tub şi nu din altă parte a aparatului. A arătat că majoritatea materialelor lăsau să treacă radiaţiile, dar unele în mai mare măsură decît altele. O carte de o mie de pagini nu le absorbea practic deloc. Sticla de plumb le absorbea mai bine decît sticla obişnuită ; oasele mîinii le absorbeau mai mult decît carnea. Platina le absorbea mai bine decît argintul sau cuprul şi multe alte substanţe decît platinocianura de bariu deveneau fluorescente sub influenţa lor : sticla de diferite feluri, calciul şi sarea gemă.

El a făcut importanta descoperire că radiaţiile impresionează emulsiile fotografice şi a folosit acest efect pentru a ilustra unele dintre concluziile sale. Nu a putut însă constata nici un efect caloric al razelor şi nici o acţiune a lor asupra retinei ochiului. El şi-a apropiat ochiul de tubul de descărcare — o experienţă care azi i-ar cutremura pe toţi cei

Scanned with CamScanner

ce cunosc acţiunea îngrozitoare pe care radiaţiile X o pot avea asupra materiei vii.

Descoperitorul nu a observat vreo refracţie pe prisme confecţionate din aluminiu şi cauciuc. El nu a putut devia radiaţiile cu ajutorul unor cîmpuri magnetice sau electrice. Nu a putut detecta nici un fenomen de interferenţă. O proprietate pozitivă, pe care a găsit-o mai tîrziu, era aceea că radiaţiile puteau provoca descărcarea corpurilor electrizate.

Săptămînile de experimentare nu au rezolvat deci nimic. Singura probă evidentă era faptul că elementele mai grele absorb radiaţiile în mai mare măsură decît cele uşoare. Această comportare contrastează cu cea a luminii, care este complet absorbită de o placă subţire de aluminiu, dar trece cu uşurinţă prin cîţiva centimetri de sticlă de plumb. În general, nimic nu părea să se potrivească ; radiaţiile nu erau ca lumina şi nu se comportau nici ca radiaţiile din tuburile de descărcare, care, de pildă, puteau fi uşor deviate de un magnet. Aşa încît Roentgen şi-a publicat rezultatele obţinute denumind cu modestie radiaţiile descoperite de el „raze X".

Descoperirea a uluit lumea — şi nu numai lumea ştiinţei. Radiaţiile X au pătruns în practica curentă, în spitale şi în tehnică. Dar problema naturii acestor radiaţii rămînea o mare problemă a fizicii. Controversa undă — corpuscul privind natura luminii a fost reactualizată datorită radiaţiilor X. Au fost efectuate numeroase experienţe în încercarea de a rezolva problema.

Roentgen stabilise că radiaţiile X sînt împrăştiate de către materie, în majoritatea cazurilor sub unghiuri mici, dar o intensitate diferită de zero a pu-

Scanned with CamScanner

tut fi măsurată chiar la unghiuri de peste 90°. În 1905 Barkla (1877—1944) a efectuat măsurători ale acestor radiaţii împrăştiate, folosindu-se de efectul semnalat de Roentgen şi anume că radiaţiile X pot descărca un corp electrizat. Într-adevăr, intensitatea radiaţiilor poate fi evaluată măsurîndu-se viteza cu care provoacă descărcarea unui electroscop — în principiu un electroscop cu foiţe de aur. Printr-o experienţă ingenioasă, Barkla a cercetat proprietăţile radiaţiilor împrăştiate, procedînd la o nouă împrăştiere a lor. El a constatat că radiaţiile împrăştiate la un unghi de 90° nu pot fi împrăştiate încă o dată cu 90° în afara planului (fig. 43), proprietate care constituie un puternic indiciu că aceste radiaţii sînt o mişcare ondulatorie transversală.

Dar dacă aşa stau lucrurile, care este lungimea lor de undă? Unii fizicieni au încercat să o afle cu ajutorul unor experienţe de difracţie, pornind de la premisa că lungimea de undă ar fi mult mai mică decît aceea a luminii. Nici unul dintre ei nu a obţinut vreun rezultat. Dar cea mai importantă experienţă a fost cea efectuată în 1908 de Walter şi Pohl, care au încercat să reproducă cu radiaţii X imaginea de difracţie a unei fante care se îngusta, realizată iniţial de Newton. Ei au folosit muchii aurite pentru a obţine o absorbţie mare şi au arătat că, folosind o fantă cu o lăţime de 1/50 mm la capătul îngust, se obţine o oarecare indicaţie de lărgire. Lungimea de undă ar fi de ordinul a 10^{-8} cm.

Adepţii teoriei corpusculare nu stăteau însă nici ei cu braţele încrucişate. W. H. Bragg (1862—1942) considera că experienţele sale dovedeau că radiaţiile X sînt particule. El a dus pînă la capăt observaţiile lui Roentgen după care radiaţiile X

Scanned with CamScanner

pot descărca un corp electrizat ; acest efect s-a dovedit a fi cauzat de producerea de ioni — particule şi molecule încărcate — în aer. Bragg constatase că transferul de energie către moleculele individuale de gaz era prea mare pentru a putea fi interpretat ca fiind provenit doar de la o mică parte a unui front de unde continuu.

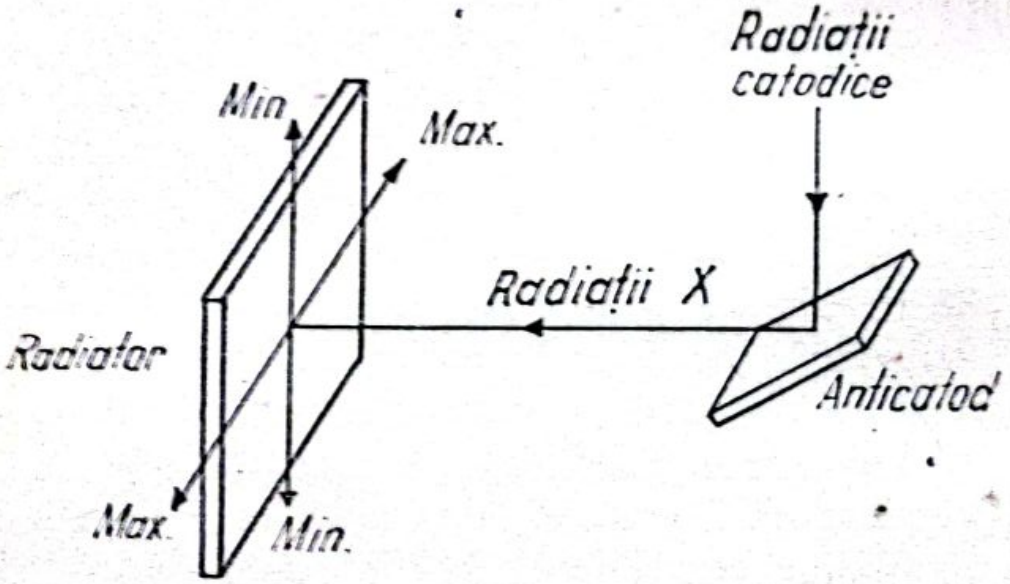


Fig. 43. Reprezentarea experienţei efectuate de Barkla pentru a demonstra polarizarea radiaţiilor X.

Această perioadă de aparentă contradicţie — căci lucrările lui Bragg şi ale lui Barkla păreau că nu pot fi reconciliate — s-a încheiat brusc în 1912, graţie unei singure experienţe. Această experienţă a fost rodul unei combinări de idei şi de personalităţi şi trebuie apreciată drept una din cele mai înalte culmi atinse în domeniul fizicii. Povestea merită să fie relatată ca exemplu al modului în care cooperarea unor talente poate fi mult mai eficientă decît suma componentelor individuale.

Scanned with CamScanner

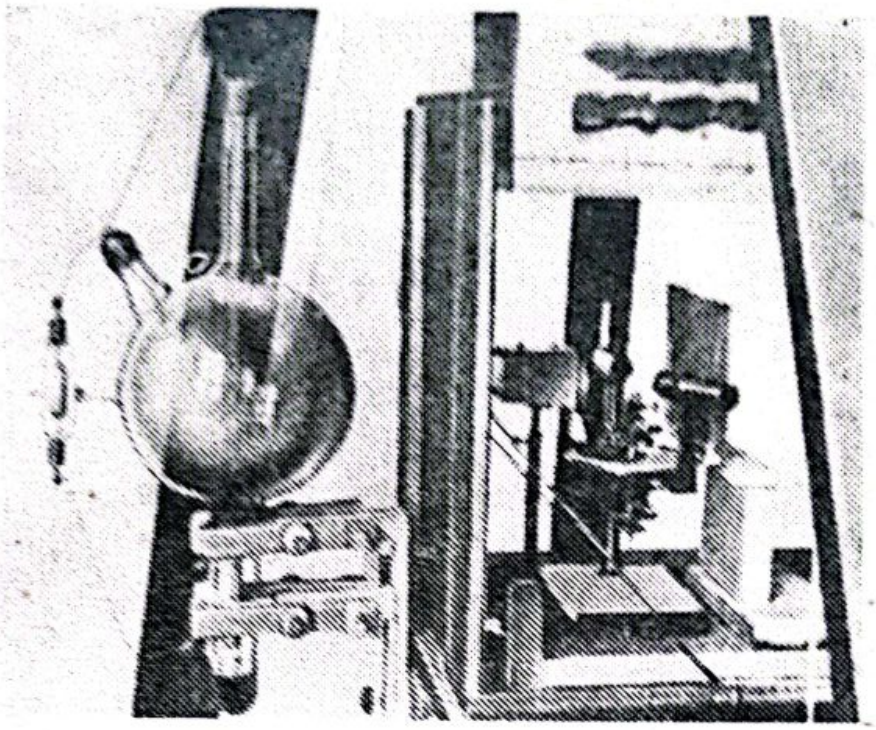


Fig. 44. Instalaţia folosită de Friedrich şi Knipping pentru a afla dacă un cristal poate funcţiona ca reţea de difracţie pentru radiaţii Roentgen.

Primul pas a fost făcut atunci cînd un cercetător, pe nume Ewald (n. în 1888), a cerut fizicianului teoretician Laue (1879—1960) sfatul cu privire la modul în care s-ar putea dezvolta o nouă teorie a undelor ce traversează o reţea de dipoli. Laue l-a întrebat pe Ewald de ce îl interesează această problemă. Răspunsul lui Ewald a fost că reţeaua reprezintă un cristal. Laue a fost surprins ; după cît se pare, nu cunoştea teoria cristalelor, enunţată încă cu mulţi ani în urmă. Este vorba despre modul de formare a cristalelor prin aşezarea stratificată a elementelor, aşa cum sugerase Haüy (1743—1822) la sfîrşitul secolului al XVIII-lea).

Scanned with CamScanner

Pe Laue această idee l-a intrigat ; ştiind că un astfel de aranjament regulat poate funcţiona ca o reţea de difracţie, el l-a întrebat pe Ewald care ar fi dimensiunea elementelor componente. Acesta din urmă nu ştia, dar a emis părerea că ar fi cuprinsă între 1/500 şi 1/1000 din lungimea de undă a luminii. Chestiunea i s-a părut lipsită de importanţă, dar nu-şi putea îngădui să fie nepoliticos cu omul căruia îi cerea sfatul. Ceea ce nu ştia era că sădise în mintea lui Laue grăuntele unei idei.

Iată care era ideea lui Laue : pentru a verifica dacă radiaţiile X sînt unde trebuie efectuată o experienţă de difracţie. Orice dispozitiv de difracţie confecţionat pe cale mecanică — ca acela construit de Pohl şi Walter — ar fi fost prea grosolan. Cristalul este însă o reţea de difracţie naturală, de o fineţe depăşind cu mult tot ceea ce poate fi creat pe cale artificială. Poate oare un cristal să producă difracţia radiaţiilor X ?

Laue nu era un experimentator şi avea nevoie de ajutor. A cerut avizul lui Sommerfeld (1868—1951), dar răspunsul acestuia din urmă nu era încurajator. Sommerfeld a declarat că agitaţia termică ar distruge structura regulată a cristalului. (S-a dovedit odată în plus că un om mare poate greşi.) El a refuzat să permită ca unul din asistenţii săi — Friedrich (născut în 1883) — să-şi piardă timpul cu o lucrare atît de aiurită. Din fericire, Friedrich a fost însă de altă părere şi cu ajutorul prietenului său Knipping (1883—1935) a efectuat în taină experienţa. Ei au ales un cristal de sulfat de cupru — majoritatea laboratoarelor posedă astfel de cristale — şi au construit aparatul prezentat în figura 44.

Scanned with CamScanner

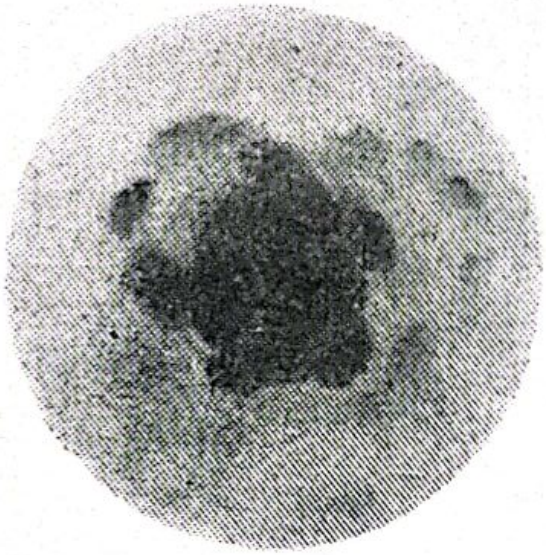


Fig. 45. Prima fotografie a difracţiei razelor Roentgen, realizată de Friedrich şi Knipping. Cristalul folosit a fost sulfatul de cupru pentahidrat.

Prima expunere nu a dat nici un rezultat. Placa fusese aşezată între tubul de radiaţii X şi cristal, deoarece experimentatorii credeau că cristalul se va comporta ca o reţea de reflexie. Pentru cea de-a doua experienţă Knipping a insistat ca plăcile fotografice să fie aşezate de jur împrejurul cristalului. În definitiv, trebuiau încercate toate posibilităţile. Şi, într-adevăr, una dintre plăci — cea aflată în linie cu fasciculul de radiaţii X, dar de partea cealaltă a cristalului — a prezentat efectul pe care îl căutau (fig. 45). Difracţia radiaţiilor X fusese descoperită.

Cu aceasta partea experimentală se încheiase, dar discuţiile au continuat. S-a obţinut o dovadă şi mai bună sub forma unor frumoase imagini simetrice (fig. 46), care corespundeau simetriei cris-

Scanned with CamScanner

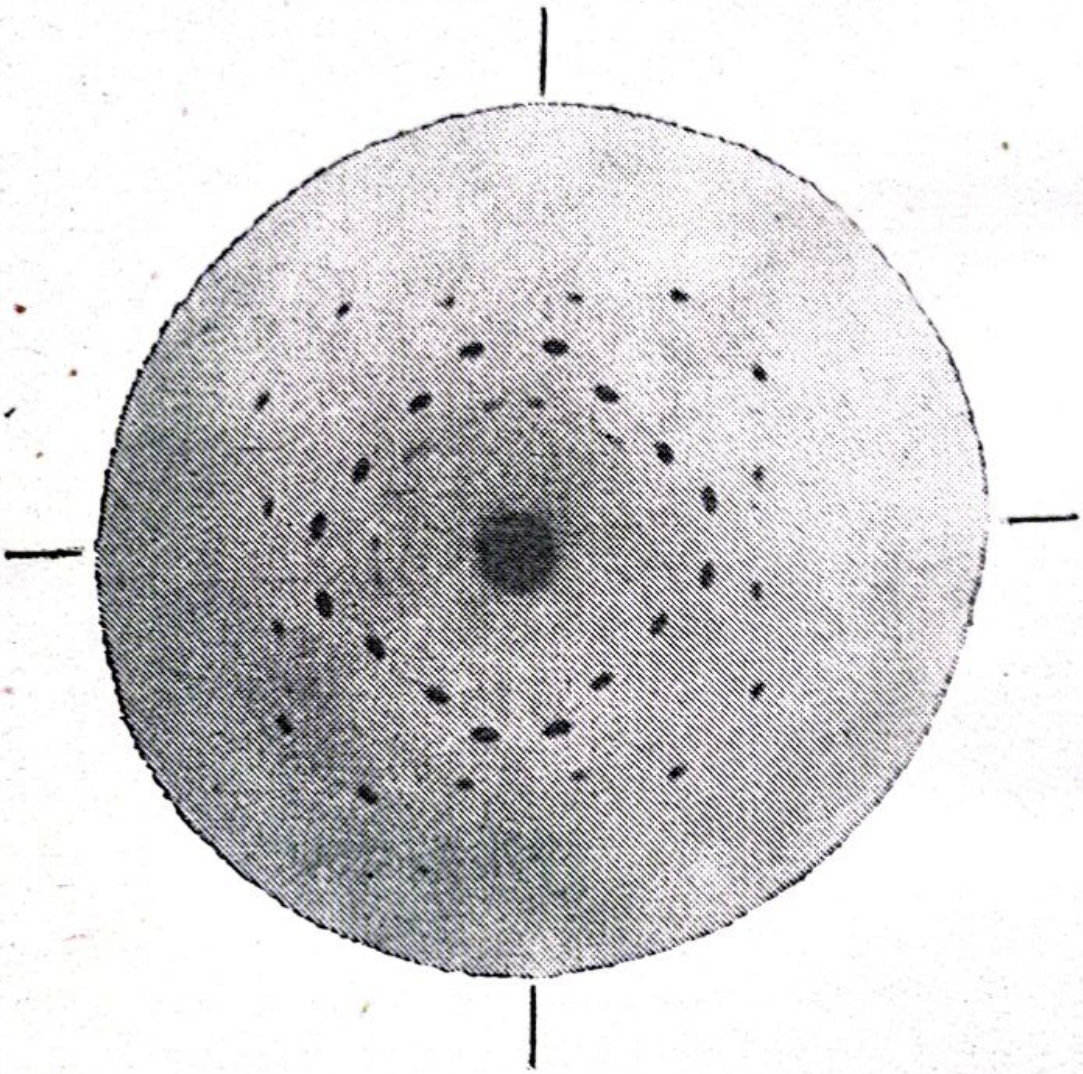


Fig. 46. Fotografia unei difracţii simetrice de raze Roentgen, obţinută cu un cristal de sulfură de zinc.

talului. Dar imaginile nu au fost suficient de bine înţelese. Adepţii teoriei corpusculare au pus întrebarea dacă nu s-ar putea ca imaginile să fie produse de corpusculi care îşi croiesc drum prin „tunele" existente în structura cristalului. Pînă la urmă au învins adepţii teoriei ondulatorii ; a devenit evident că era vorba de o gamă de lungimi de undă ca în cazul luminii albe. Acum totul se lega şi rezultatele corespundeau întocmai cu teoria reţelei de difracţie tridimensionale elaborată de Laue. Nu mai

Scanned with CamScanner

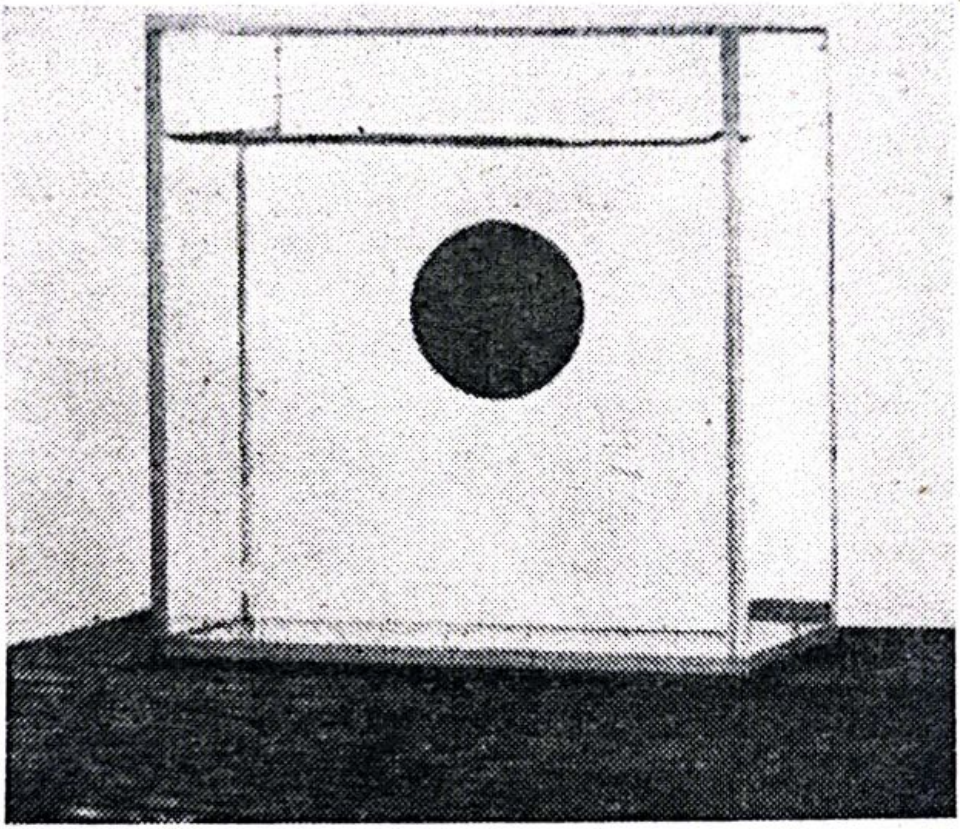


Fig. 47. O picătură sferică de anilină suspendată într-o soluţie sărată de aceeaşi densitate.

rămînea decît să fie găsită constanta reţelei, dar povestea acestei descoperiri trebuie să aştepte pînă la capitolul următor.

Am parcurs un drum lung de la punctul de pornire — lumina vizibilă. Am văzut cum domeniul spectral a fost extins, incluzînd radiaţia ultravioletă şi cea infraroşie. Am văzut cum a fost descoperită radiaţia electromagnetică cu lungime mare de undă şi cum au fost identificate undele foarte scurte ale radiaţiilor X. Nu sînt decît cîteva exemple, suficiente totuşi pentru a arăta cum creşte edificiul fizicii pe temelia propriilor ei descoperiri. Unele rezultate ale acestei dezvoltări vor fi prezentate în capitolul ce urmează.

Scanned with CamScanner

10
Structura materiei

Pînă aici am prezentat ceea ce sper că este o imagine impresionantă a drumului parcurs de dezvoltarea fizicii. Pornind de la observaţii foarte obişnuite, obiectul ei s-a extins cu mult dincolo de experienţa noastră de toate zilele. Dar în plus, fizica a pus la dispoziţie şi uneltele necesare atît pentru propria ei dezvoltare, cît şi pentru bunăstarea întregii omeniri. Pentru a-şi justifica existenţa, fizica trebuie să aibă mereu în vedere aceste două aspecte ale ei.

Cunoaştem astăzi o mulţime de lucruri despre structura materiei. Dar aceste cunoştinţe nu au fost obţinute aşteptînd pînă ce oamenii de ştiinţă vor avea la dispoziţie uneltele necesare. Fizicienii sînt oameni nerăbdători care îşi construiesc uneltele, ca să zicem aşa, din mers. Boyle şi alţii au emis teorii cu privire la natura gazelor ; la jumătatea secolu-

Scanned with CamScanner

lui al XVIII-lea teoria cinetică a gazelor era general acceptată. Nu se cunoştea nimic şi nici nu era necesar să se cunoască ceva despre molecule ca atare, deoarece în gaze moleculele se află aproape întotdeauna la distanţe relativ mari unele de celelalte şi nu se influenţează reciproc. Dar lichidele se deosebesc de gaze. În lichide moleculele sînt întotdeauna în contact unele cu celelalte, aşa încît proprietăţile lor prezintă importanţă. Atunci, de unde se putea începe studiul lichidelor ?

Răspunsul rezidă în acea proprietate a lor care le deosebeşte de gaze, respectiv existenţa unei suprafeţe libere. Hooke a fost unul din primii care au studiat acest fenomen. În lucrarea sa *Micrographia* el a expus rezultatele cercetărilor lui, şi anume că pentru ca apa să treacă prin orificii mici este necesară o anumită presiune şi că plumbul topit formează picături sferice. Atît Young în 1804 cît şi Laplace în 1806 au reuşit să explice aceste fenomene cu ajutorul a ceea ce numim azi tensiunea superficială. În interiorul unui lichid fiecare moleculă este atrasă în mod egal de celelalte molecule din jurul ei ; la suprafaţă însă, neexistînd molecule pe partea exterioară, forţa rezultantă pe fiecare din ele trebuie să fie îndreptată spre interior. De fapt, deşi tensiunea superficială este un fenomen obişnuit, efectele sale nu sînt prea uşor de dedus din teoria lui Young şi Laplace. Nu este scopul acestei cărţi de a discuta diversele teorii în detaliu. Este poate cel mai indicat să ne limităm expunerea la a spune că pe baza ideilor lui Young şi Laplace s-a ajuns la concepţia că la suprafaţa lichidului există o energie şi, cum toate sistemele stabile tind să aibă

Scanned with CamScanner

o energie minimă, această suprafaţă caută să devină cît mai mică posibil.

Această concepţie explică existenţa picăturilor sferice de plumb descoperite de Hooke, dar în lichide gravitaţia intervine într-o mare măsură în efectul menţionat. În 1873, Plateau (1801—1883) a descris un mijloc ingenios de a contracara efectul gravitaţiei. El a arătat că un amestec de apă şi alcool de aceeaşi densitate cu cea a untdelemnului de măsline poate forma picături mari sferice cînd se află în suspensie în untdelemn. Un fenomen analog este prezentat în figura 47.

Fizicienii secolului al XIX-lea au născocit numeroase şi frumoase experienţe pentru a ilustra tensiunea superficială. Dar astăzi numeroşi fizicieni sînt de părere că în cursurile de fizică s-a pus prea mult accent pe acest fenomen şi că acum el nu merită să fie menţionat decît în treacăt. Personal nu sînt de acord cu această părere. Tensiunea superficială exercită o influenţă considerabilă atît în viaţa de toate zilele cît şi în industrie şi nici un fizician nu trebuie să considere că pregătirea sa este completă atîta vreme cît nu cunoaşte efectele ei. Totodată, ea ne introduce în lumea moleculelor — o introducere desigur rudimentară, dar care nu necesită nici aparatura, nici teoria complicată a cercetărilor ulterioare.

Acest lucru ar putea să apară surprinzător, deoarece ne-am aştepta ca dimensiunile atomice să nu poată fi cercetate decît prin observarea directă a unui fenomen atomic individual. Să vedem cum stau lucrurile. Să presupunem că forţa îndreptată spre interior nu acţionează decît pe distanţa *b*,

Scanned with CamScanner

aceasta din urmă fiind de ordinul de mărime al unei molecule ; masa asociată cu suprafaţa A a unui strat de grosime b este $Ab\rho$, unde ρ este densitatea. Pentru a evapora această masă este necesară o cantitate de căldură $lAb\rho$, unde l este căldura latentă. Dar aceasta trebuie să fie energia asociată cu suprafaţa A, adică σA, unde σ este tensiunea superficială. Aşadar

$$\sigma A = lAb\rho$$

sau

$$b = \frac{\sigma}{l\rho}$$

Pentru a vedea ce înseamnă această formulă în practică, putem introduce valorile respective pentru apă : $\sigma = 70$ dine cm^{-1} şi $l = 500$ cal g^{-1}, ceea ce este egal cu 2×10^{10} ergi g^{-1}. Aşadar, dat fiind că $\rho = 1$ g cm^{-3},

$$b \simeq 3 \times 10^{-9} \text{ cm.}$$

Această valoare este destul de mică, dar faptul nu trebuie să ne mire, avînd în vedere că datele de pornire sînt foarte aproximative.

Un aspect mai important, poate, al acestui raţionament este faptul că el arată că tensiunea superficială nu este numai o proprietate ciudată a lichidelor, ci este proprietatea lor *esenţială*. Dacă nu ar exista forţe de atracţie spre interior, nu ar exista nici suprafeţe libere şi nici căldură latentă de evaporare. Cu alte cuvinte, lichidele nu ar fi lichide şi nu ar exista vreo deosebire între starea gazoasă şi cea lichidă. Acest efect apare în anu-

Scanned with CamScanner

mite condiţii de temperatură şi presiune — denumite condiţii critice — caracteristice pentru fiecare lichid în parte.

Faptul că la jumătatea secolului al XIX-lea a fost admisă existenţa atomilor şi a moleculelor a oferit fizicii un obiectiv precis — acela de a afla cît mai multe despre ele pe baza cunoştinţelor din fizică acumulate pînă atunci. Cum sînt legate între ele moleculele ? Au atomii o anumită structură ? Iată genul de întrebări cărora trebuie să li se dea un răspuns. La început oamenilor de ştiinţă trebuie să li se fi părut că răspunsurile ar fi imposibile cu mijloacele fizicii, aşa cum erau ele cunoscute pe acea vreme. Treptat însă, ajutaţi şi de imaginaţie, au reuşit să obţină un enorm bagaj de informaţii care depăşea ceea ce în mod logic s-ar fi putut aştepta. În parte aceste cunoştinţe au rezultat din cercetarea unor fenomene obişnuite, iar în parte din cîte un indiciu ascuns, dar nu atît de ascuns încît omul să nu-l poată descoperi. Un asemenea indiciu l-a constituit electroliza, iar cel care a făcut cel mai mult pentru a pune în evidenţă importanţa acesteia pentru cercetările fundamentale din domeniul fizicii a fost Faraday, cu instinctul aproape infailibil care-i sugera în ce direcţie trebuiau orientate cercetările.

Fenomenul electrolizei l-a atras pe Faraday fiindcă şi-a dat seama că ea constituie un punct nodal pentru progresul fizicii. În sine, electroliza poate fi considerată mai degrabă drept o chestiune banală — o ramură a chimiei fizice, remarcabilă mai mult pentru marea ei utilitate practică decît pentru importanţa ei fundamentală. Faraday a văzut însă în electroliză un indiciu al legăturii dintre

Scanned with CamScanner

două fenomene disparate — electricitatea şi legătura chimică. El a intuit că trebuie să existe aici o corelaţie ascunsă şi şi-a propus să o descopere.

Contemporanii lui Faraday au emis unele teorii foarte ciudate — de pildă că apa este un element şi că oxigenul şi hidrogenul ar fi nişte compuşi rezultaţi din electricitatea pozitivă, respectiv negativă. Cel ce a început să pună ordine în această chestiune a fost Davy (1778—1829). În 1806, de pildă, el a efectuat o experienţă cu sulfat de potasiu aflat în două cuve de agat. După ce a trecut un timp oarecare prin cele două cuve un curent electric, a găsit într-una din ele potasă, iar în cealaltă acid sulfuric. Era oare cu putinţă o dovadă mai evidentă a faptului că electricitatea poate să influenţeze o reacţie chimică ?

Dar raţionamentul lui Davy a lăsat nelămurite problemele de bază, meritul lui constînd în stimularea imaginaţiei lui Faraday. Acesta din urmă a evidenţiat importanţa pe care o avea experienţa lui Davy, construind o singură celulă, aşa cum se arată în figura 48. Descompunerea chimică era indicată de culoarea turnesolului şi a hîrtiei de curcumă. Deşi gelatina sărată nu era în contact cu electrozii, colorarea apărea totuşi numai la electrozi.

Pe baza acestor rezultate, Faraday a emis în 1833 o nouă teorie, şi anume că lichidele care pot fi supuse electrolizei sînt compuse din două feluri de particule asupra cărora acţionează toţi vecinii lor (noi le denumim astăzi ioni). Numai la electrozi particulele nu sînt complet înconjurate de altele şi deci numai acolo forţele acţionează în mod inegal. Putem oare recunoaşte în această teorie teoria modernă a electroliţilor ?

Scanned with CamScanner

Teoria lui Faraday — ca toate teoriile valoroase din domeniul fizicii — a sugerat noi direcţii de experimentare. În primul rînd, el a arătat că gradul de disociere depinde exclusiv de curent, nu de electrozi ; el a aşezat cîteva celule de electroliză în serie cu electrozi de diferite dimensiuni şi a arătat că în toate celulele cantitatea de gaz degajată este

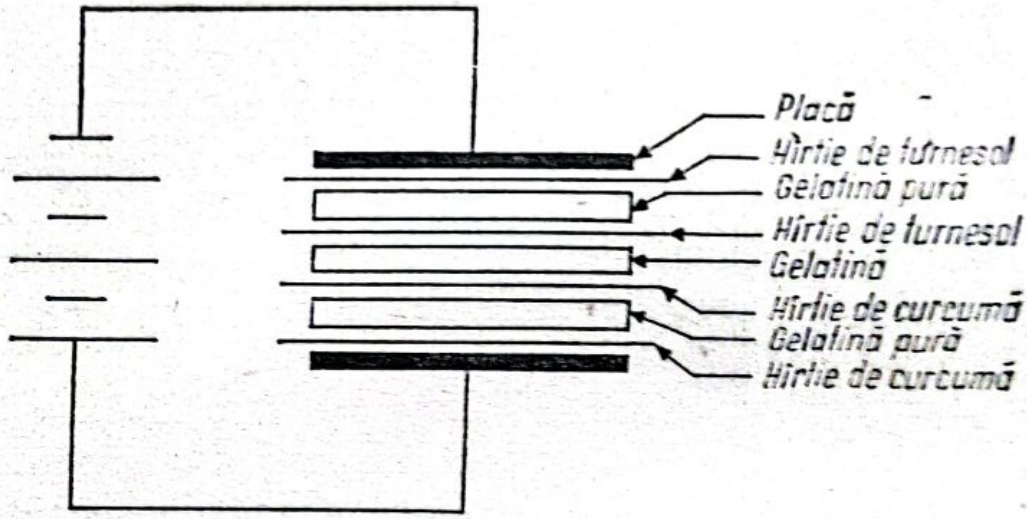


Fig. 48. Celula construită de Faraday pentru a demonstra că acţiunea chimică nu are loc decît pe electrozi.

aceeaşi. Faraday nu era prea preocupat de problema preciziei — nici una din lucrările lui nu excelează printr-o prea mare precizie ; cînd cele două tuburi au arătat respectiv 1,9 şi 2,2 inch cubici, el s-a convins că cele două volume sînt egale. Dar cum se pierdea totuşi puţin gaz pe lîngă firele de conexiune a plăcilor, el a aşezat firele în aşa fel încît să intre pe la capetele tuburilor, şi de astă dată rezultatele au fost mai bune.

Apoi, timp de cîteva luni a început să lucreze cu diferiţi compuşi pentru a verifica legea care ştia că *trebuie* să fie adevărată, şi anume : cantitatea de

Scanned with CamScanner

element eliberat este proporţională cu masa elementului respectiv din electrolit. El a tratat gazele aşa cum s-a arătat în alineatele precedente ; în cazul elementelor solide a cîntărit electrodul înainte şi după depunere. Aşa, de pildă, cu două bucăţi de zinc amalgamat în acid sulfuric el a obţinut 10,02 inch cubici de hidrogen la un electrod şi a pierdut 6,30 grains [1] de zinc la celălalt. Introducînd corecturile necesare pentru a ţine seamă de temperatură şi presiune, el a dedus că avea echivalentul a 1,878826 grains de apă. În felul acesta a ajuns la proporţia

$$1{,}878\ 826 : 6{,}30 = 9 : 30{,}2.$$

(În zilele noastre i s-ar fi reproşat că foloseşte prea multe cifre semnificative.) El a considerat că 30,2 concordă destul de bine cu valoarea corectă de 32,5 — greutatea echivalentă a zincului.

Consultîndu-se cu alţi oameni de ştiinţă, Faraday a introdus majoritatea termenilor cu care sîntem obişnuiţi astăzi — electrolit, anion, cation şi aşa mai departe. Era foarte preocupat de nomenclatură ; îi plăcea cuvîntul nou introdus „scientist“ (= om de ştiinţă), dar îi displăcea cuvîntul „fizician“, cu cele trei consoane siflante una după alta.

La începutul anului 1834, Faraday pusese efectiv bazele teoriei electrolizei şi crease o nouă disciplină — electrochimia. Dar îi scăpase o idee de extremă importanţă. Legile sale presupuneau că fiecare atom purta fie aceeaşi sarcină, fie un multiplu întreg al aceleaşi sarcini şi deci că electricitatea,

[1] 1 grain = 0,0648 grame (*N.T.*).

la fel ca şi materia, trebuie să aibă o structură atomară (corpusculară — *N.T.*). Acest lucru a fost subliniat de Helmholtz (1821—1894) într-o prelegere omagială ţinută în 1881, cu ocazia comemorării lui Faraday. Ca în cazul tuturor fizicienilor cu adevărat mari, lucrările lui Faraday au deschis pespective cu totul noi.

Dar soluţia definitivă a problemei nu a venit ca urmare logică a rezultatelor obţinute de Faraday, ci dintr-o cu totul altă direcţie, de la tubul de descărcare, care în 1895 făcuse posibilă descoperirea radiaţiilor X. În 1897, J. J. Thomson a descoperit electronul. Fizica — ca şi viaţa în general — nu şi-a revenit încă complet de pe urma acestei descoperiri. Nici unul din fenomenele observate în tubul de descărcare nu putea fi explicat cu ajutorul cunoştinţelor fizice de pe vremea aceea, aşa încît fizica tradiţională trebuia fie extinsă, fie modificată. Majoritatea fizicienilor sperau că nu va fi necesară decît o extindere, dar cei mai clarvăzători dintre ei şi-au dat probabil seama că erau necesare schimbări — poate chiar schimbări revoluţionare —, dat fiind că toate efectele luate în considerare erau în asemenea măsură ieşite din comun.

Cum să procedăm pentru a încerca să aflăm ce se întîmplă ? Există două metode generale. În primul rînd, putem încerca să aplicăm toate noile tehnici de măsurare şi să vedem dacă rezultatele ne sugerează vreo idee nouă. (În definitiv, nu a făcut oare lordul Rayleigh o afirmaţie care poate fi rezumată prin cuvintele : „fizica înseamnă măsurare“ ?) Cealaltă metodă consta în a încerca să reducem experienţa la cea mai simplă expresie a ei şi să vedem dacă putem obţine cel puţin un rezultat

Scanned with CamScanner

calitativ. Amîndouă aceste căi au fost folosite, dar cea din urmă a fost cea încununată de succes.

Cînd în tubul de descărcare presiunea a fost redusă pînă la valori atît de mici încît nu mai apăreau striuri, luminescenţa continuă (cunoscută sub denumirea de radiaţii catodice) a putut fi cercetată în amănunţime. Mai întîi s-a constatat că acest tip de raze poate fi deviat cu uşurinţă pe un cîmp magnetic, în timp ce un cîmp electric nu produce o deviere perceptibilă. Radiaţiile catodice produc căldură cînd vin în contact cu materia. Traiectoria lor nu depinde de poziţia anodului ; ele necesită pentru amorsare o anumită diferenţă de potenţial, dar odată amorsate au tendinţa de a se propaga în linie dreaptă şi de aceea umbrele produse de ele au contururi foarte precise.

Toate aceste constatări nu erau concludente. Parte din ele sugerau că radiaţiile ar fi de natură corpusculară ; cît despre direcţia devierii în cîmpul magnetic, ea corespundea ipotezei că sînt purtătoare de sarcini negative. Dar de ce nu erau deviate de un cîmp electric ? Crookes (1832—1919) a efectuat o experienţă pentru a vedea dacă purtau impuls, încercînd să le facă să rotească o morişcă cu palete foarte fine, perfect echilibrată.

Controversa din secolul al XVII-lea dintre Newton şi Huygens a fost astfel reactualizată : erau radiaţiile catodice particule sau unde ? Germanii — încă foarte mîndri de descoperirile lui Hertz — credeau că sînt unde. Dar, atunci, de ce sînt deviate de un cîmp magnetic ? Fiindcă — afirmau adepţii acestei concepţii — sînt o formă nouă de radiaţie electromagnetică care este deviată de un cîmp magnetic.

Scanned with CamScanner

Englezii — mai încăpăţînaţi — erau de părere că sînt particule încărcate. Dar, în acest caz, de ce nu sînt deviate de cîmpurile electrice ? Poate fiindcă experienţele nu erau destul de precise pentru evidenţierea deviaţiilor ? Problema a rezolvat-o Thomson. La presiunea la care pot fi observate radiaţiile catodice, aerul este un destul de bun conducător şi noi ştim că în interiorul unui conductor nu poate exista un cîmp electric. Aşadar, atunci cînd aşezăm doi electrozi transversal în descărcare faţă în faţă, cu feţele paralele cu direcţia descărcării, descărcarea nu produce decît un curent între ei, cîmpul electric static fiind neglijabil.

Această constatare l-a condus pe Thomson la prima sa idee remarcabilă — să reducă presiunea cît mai mult, aşa încît radiaţiile catodice abia să se mai vadă şi apoi să încerce experienţa de deviere electrică. Experienţa a reuşit. Radiaţiile au fost efectiv deviate, şi anume într-o direcţie care concorda cu ipoteza că au o sarcină electrică negativă.

De astă dată dovada era evidentă şi completă. Radiaţiile catodice sînt particule cu sarcina electrică negativă, deplasîndu-se cu un impuls considerabil. Abia acum, după ce au fost înţelese toate acestea, au putut fi folosite metode cantitative. Nu trebuia să se înceapă cu măsurători, deoarece fără a înţelege exact natura fenomenului vom greşi în alegerea a ceea ce trebuie măsurat sau măsurătorile vor fi atît de complicate încît nimeni nu va fi în stare să se descurce în ele.

Thomson ştia ce avea de făcut. El a conceput un aparat (fig. 49) prin care devierea radiaţiilor de către un cîmp electric să fie compensată prin devierea produsă de un cîmp magnetic. Trebuie

Scanned with CamScanner

avut în vedere faptul că forţa ce se exercită într-un cîmp electric asupra unei sarcini nu depinde de viteza sarcinii, pe cîtă vreme forţa exercitată de un cîmp magnetic *depinde* de viteză, deoarece sarcina se comportă ca un curent. Deviaţiile produse depind, firește, de viteză, deoarece cu cît particula se deplasează mai repede, cu atît trebuie să fie mai mare forţa necesară pentru a devia particula cu un

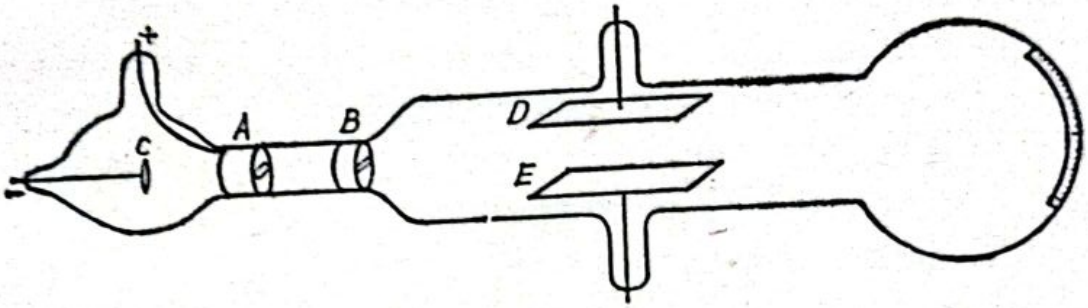


Fig. 49. Aparatul construit de Thomson pentru măsurarea raportului *e/m* pentru particulele ce constituie radiaţia catodică.

anumit unghi (viteza implicată este diferită pentru cele două cîmpuri).

Cu acest dispozitiv Thomson a obţinut două rezultate uluitoare. Primul e că particulele se deplasează cu o viteză enormă, de aproximativ a zecea parte din viteza luminii. Viteza exactă era discutabilă, pentru că, după cum am văzut, cîmpul electric nu putea fi măsurat cu precizie. Dar nu exista nici o îndoială că particulele se deplasau cu viteze care pînă atunci nu fuseseră asociate cu particule materiale. Dar ceea ce era şi mai important este faptul că sarcina pe unitate de masă — cunoscută pînă astăzi ca *e/m* — era de ordinul a 10^7 unităţi electromagnetice per gram.

Scanned with CamScanner

Am mai vorbit despre însemnătatea pe care o are faptul că cercetătorul „se aşteaptă" la un anumit rezultat. Thomson era un prea mare savant ca să nu-şi fi dat seama că rezultatul obţinut era de o importanţă cu totul excepţională. O sută de milioane de coulombi pe gram ? Nici o altă formă de materie nu prezenta un fenomen asemănător. Un ion de hidrogen în electroliză avea 100 000 coulombi şi, faţă de ceea ce ştim despre forţa ce se exercită între doi coulombi, această valoare este imensă. Dar acum ne aflam în faţa unor particule cu sarcina de o mie de ori mai mare. Nu-i de mirare că fizicienii vorbeau de o „a patra stare a materiei", care era poate chiar electricitatea însăşi.

Thomson s-a întrebat ce semnificaţie are rezultatul obţinut de el. Era oare vorba de noi atomi cu sarcini imense sau de noi particule cu mase mult mai mici decît cele pe care le poate avea un atom ? Cum s-ar putea ajunge să-ţi dai seama ? Dovada era accesibilă, dar a fost necesară o minte ca a lui Thomson pentru a înţelege întreaga ei semnificaţie.

În 1893 Lenard (1862—1947) a reuşit, trecînd radiaţiile catodice printr-o fantă îngustă din aluminiu subţire, să le scoată în aer, unde, la o distanţă de cîţiva milimetri, au produs o frumoasă fosforescenţă. Ce legătură avea acest fenomen cu problema amintită mai sus ? Thomson ştia că drumul liber mijlociu — distanţa medie dintre două ciocniri ale moleculelor de aer la presiunea atmosferică — este de aproximativ 10^{-5} cm. Dacă razele catodice puteau străbate de 10 000 de ori această distanţă, drumul liber mijlociu al acestor particule în aer trebuie să fie mult mai mare ; particulele trebuie să fie deci extrem de mici. El a anunţat aşadar în 1897

Scanned with CamScanner

că după părerea sa radiaţiile catodice sînt fluxuri de particule foarte mici care se deplasează cu viteze apropiate de viteza luminii şi au aceeaşi sarcină ca ionii lui Faraday, dar o masă de 1 000 de ori mai mică decît cea a celui mai uşor atom. Într-adevăr, o nouă stare a materiei !

Cîte feluri de asemenea particule există ? Au fost făcute experienţe cu diferite gaze, dar toate au dat aceeaşi valoare pentru sarcina pe unitate de masă. Se părea că particula — denumită mai tîrziu „electron" de către Johnstone Stoney — ar fi un element constitutiv universal al materiei. Este cazul să fie subliniată importanţa mărimii e/m ; măsurători efectuate în împrejurări total diferite au permis identificarea electronilor după valoarea pe care o are raportul e/m ; de asemenea, s-a putut demonstra că şi alte particule au propriile lor valori caracteristice.

Valoarea raportului e/m este bine cunoscută pentru electron ; dar pentru o completă caracterizare a electronului este necesar să cunoaştem separat valoarea mărimilor e şi m. Acest lucru este mult mai greu de realizat, deoarece implică măsurători precise ale unor dimensiuni atomice. Un savant devenit celebru în acest domeniu a fost Millikan (1863—1953), al cărui experiment este universal cunoscut. Ceea ce nu este însă la fel de bine cunoscut este faptul că realizarea lui Millikan a reprezentat punctul culminant al unui şir de experienţe efectuate de C. T. R. Wilson (1869—1959), Townsend (1868—1957) şi J. J. Thomson.

Punctul de pornire l-a constituit interesul purtat norilor de către Wilson. El ştia că norii — constînd din miriade de mici picături — nu se for-

Scanned with CamScanner

mează decît atunci cînd există particule pe care picăturile să se poată condensa. Puteau oare ionii, recent descoperiţi, să joace rolul unor asemenea particule? El a construit o cameră cu ceaţă

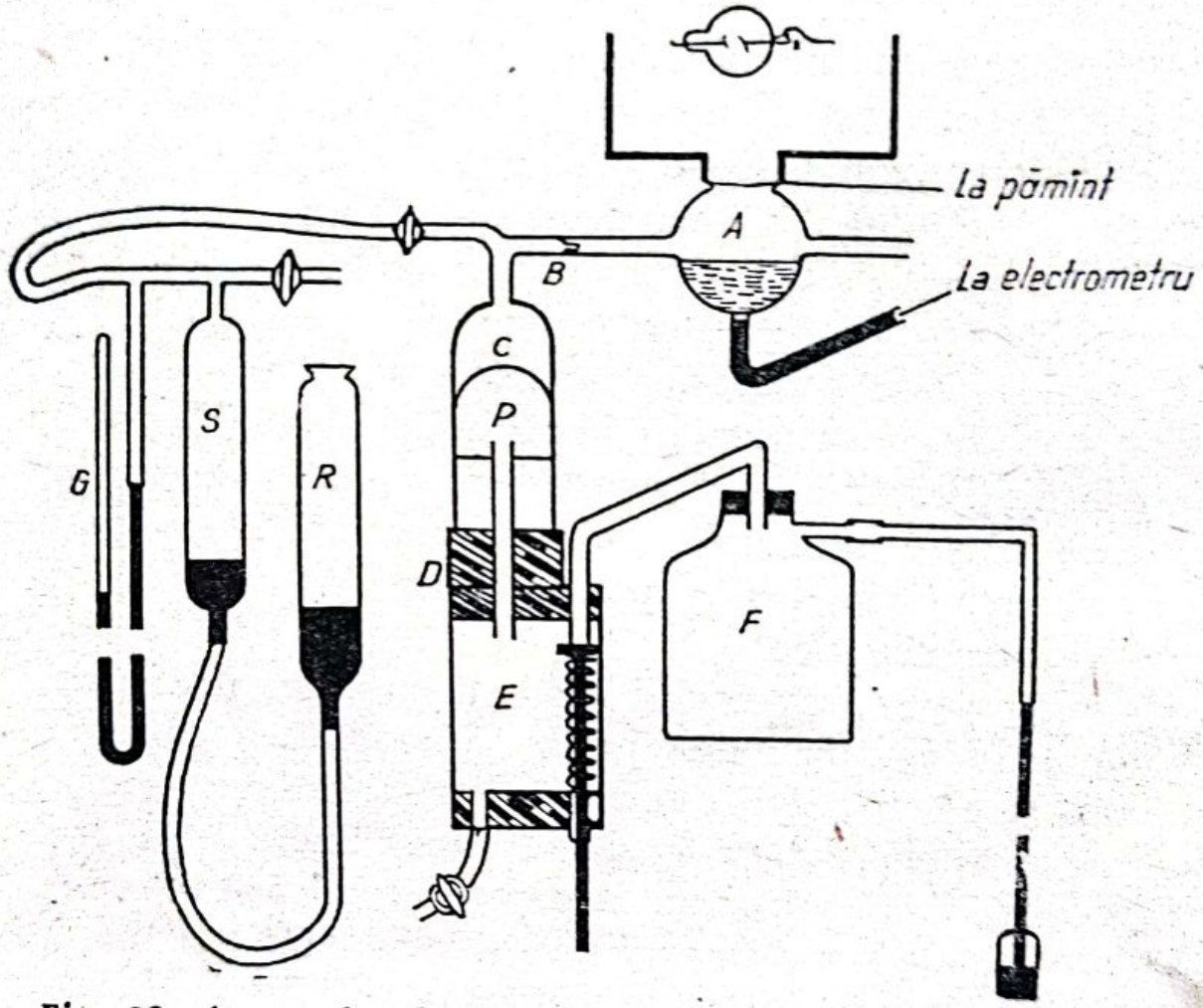


Fig. 50. Aparatul folosit pentru producerea condensării picăturilor de apă pe electroni şi a determinării sarcinii picăturilor individuale.

(fig. 50) în care putea fi produsă brusc o răcire adiabatică (vezi p. 48) şi deci o suprasaturare. El a folosit-o la studiul ionizării provocate de radiaţiile X. Wilson a constatat că ceaţa ce se forma în spaţiul suprasaturat cobora surprinzător de uni-

Scanned with CamScanner

form, ceea ce arăta că particulele aveau aceeaşi mărime.

Townsend şi Thomson au aplicat această idee la studiul electronului. Dacă putem măsura sarcina şi masa totală a ceţei şi putem stabili mărimea fiecărei picături, s-ar putea determina şi sarcinile individuale. Trebuia să se pornească de la ipoteza că fiecare picătură cu sarcină electrică purta un singur electron şi că nu existau picături neutre, aşa încît nu era de aşteptat o precizie prea mare. Şi în alte probleme primele experienţe sînt adeseori destul de puţin precise şi nu are nici un sens să se aştepte perfecţionări pentru a începe experienţele.

Pentru a găsi dimensiunea picăturilor, ei au încercat să măsoare inelele de difracţie observate în lumină monocromatică, dar rezultatele au fost prea imprecise. Au avut apoi ideea de a folosi viteza de cădere a unei picături, folosindu-se de teoria emisă de Stokes (1819—1903) ; această teorie stabilea o relaţie ce lega viteza limită a unei sfere de raza ei şi de viscozitatea mediului în care ea se deplasează. Aplicarea teoriei la corpuri atît de mici a constituit un pas nou şi îndrăzneţ.

Printr-o experienţă reprezentativă, Townsend a stabilit că picăturile sale aveau o rază de 3×10^{-4} cm şi că norul său conţinea 3×10^{4} picături. Cu ajutorul unui electrometru a constatat că sarcina este de 3×10^{-15} coulombi şi că, în consecinţă, sarcina individuală este de aproximativ 10^{-19} coulombi. Era un rezultat foarte mulţumitor — circa două treimi din răspunsul corect. El a arătat că ipoteza lui Thomson este corectă şi că masa electronului este de aproximativ 1/1 000 din masa celui mai uşor atom — hidrogenul.

Scanned with CamScanner

Pe baza acestor rezultate Millikan şi-a propus un obiectiv mai ambiţios — să măsoare picăturile în mod individual. Numai în felul acesta, credea el, puteau fi evitate gravele erori provenite prin efectuarea de măsurători la un număr atît de mare de picături. Dar trebuia mai întîi să ia în considerare dificultăţile de ordin tehnic.

Ce fel de forţă va avea de măsurat ? Forţa ce acţionează asupra unei sarcini de 10^{-19} coulombi într-un cîmp de 10^4 $V \cdot cm^{-1}$ (cea mai mare posibilă fără să se producă străpungerea electrică a aerului) este de numai 10^{-8} dine). Este o forţă ridicul de mică. Dar ea se aplică numai unor picături ridicul de mici, cu o masă de aproximativ 10^{-12} g. Mişcarea rezultată ar trebui evident să fie uşor observabilă. Tocmai astfel de calcule de ordin de mărime trebuie să preceadă de obicei planificarea unei noi experienţe.

Millikan a utilizat aparatul prezentat în figura 51. A folosit cîmpuri de ordinul a 5 000 $V \cdot cm^{-1}$ între plăci cu diametrul de 22 cm, separate prin bucăţi de sticlă prelucrată optic şi avînd o grosime egală (aproximativ 1,5 cm). În acest cîmp el a pulverizat picături de ulei la o presiune de vapori joasă, aşa încît ele să nu-şi modifice masa prin evaporare. A observat deplasarea picăturilor cu ajutorul unui microscop cu două fire orizontale ; a notat timpii de cădere liberă a unei picături, iar apoi timpii mişcării pe verticală în sus cînd cîmpul electric este conectat. Ajunsese la o mare dexteritate în efectuarea acestei operaţii şi pretindea că poate ţine sub observaţie o picătură individuală timp de cinci sau şase ore — o remarcabilă performanţă de răbdare şi perseverenţă.

Scanned with CamScanner

El a constatat că timpul de cădere a unei picături date este uimitor de constant, ceea ce arată că masa nu s-a modificat cu trecerea timpului. Dar drumul în sus necesită timpi diferiţi, în funcţie de sarcina căpătată în mod accidental. Următoarele citiri constituiau un grup reprezentativ : 12,5 ; 12,4 ;

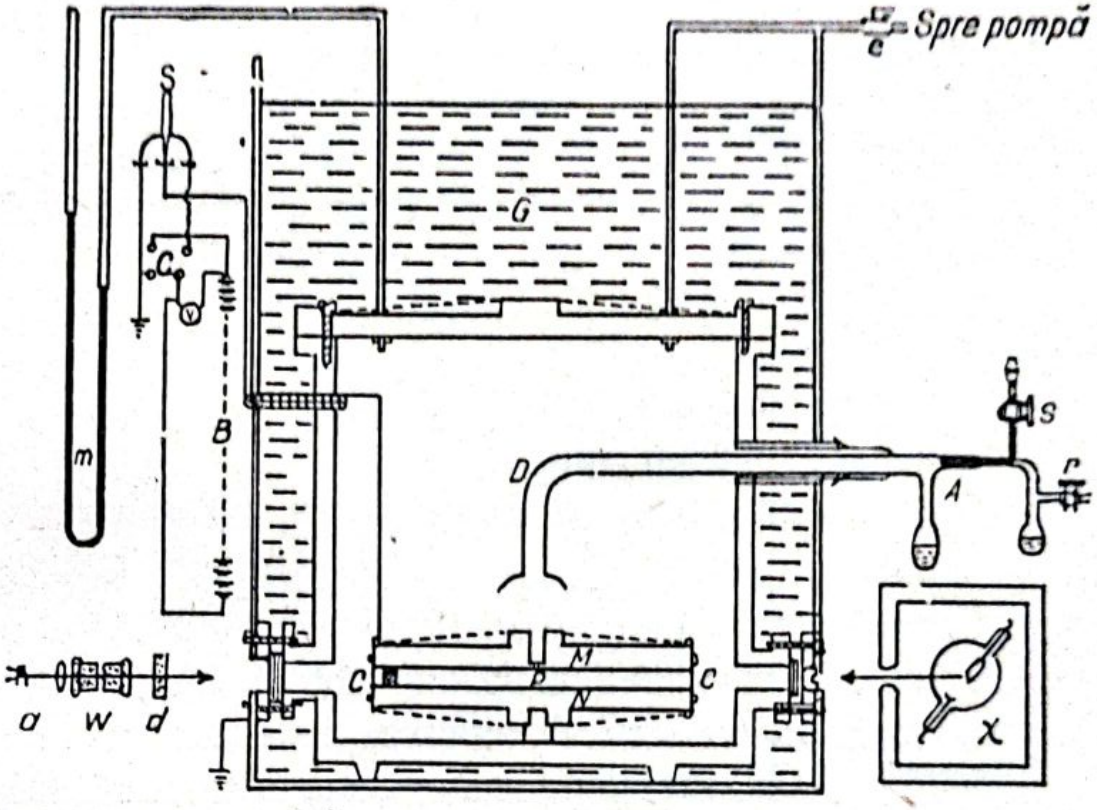


Fig. 51. Aparatul construit de Millikan pentru a determina sarcina unei singure picături electrizate.

21,8 ; 34,8 ; 84,5 ; 85,5 ; 34,6 ; 34,8 ; 16,0 ; 34,8 ; 34,6 ; 21,9 secunde. Ce se poate deduce din aceste cifre ?

Timpii se grupează de la sine în cinci grupe — 12,45 ; 16,0 ; 21,85 ; 34,72 (cel mai frecvent) şi 85,0 secunde. Dacă admitem — în conformitate cu teoria lui Stokes — că viteza este o măsură a forţei, valorile inverse valorilor de mai sus trebuie

Scanned with CamScanner

să fie semnificative. Aceste valori inverse sînt : 0,0803 ; 0,0625 ; 0,0458 ; 0,0288 şi 0,0118 s^{-1}. Aceste cifre nu spun în sine nimic, dar *diferenţele* ar trebui să reprezinte dobîndirea sau pierderea uneia sau a mai multor unităţi. Aceste diferenţe sînt : 0,0178 ; 0,0167 ; 0,0170 şi 0,0170 — o demonstraţie clară a faptului că sarcina electrică are un caracter discret.

Millikan a afirmat că în peste o mie de experienţe efectuate nu a observat niciodată diferenţe care să nu fie în concordanţă cu o asemenea schemă. Acest lucru este surprinzător. Pare puţin probabil ca într-o perioadă de timp de ordinul unui minut să nu se producă unele schimbări. Ştiau oare picăturile lui că se află sub observaţie ? Sau a devenit el atît de dibaci încît să detecteze o discontinuitate şi să ignoreze rezultatul ?

El a procedat la o perfecţionare a aparatului şi în cele din urmă a ajuns la concluzia că sarcina electronului este de $4{,}774 \times 10^{-19}$ coulombi. Acum puteau fi găsite toate celelalte mărimi atomice, în particular numărul lui Avogadro, care s-a dovedit a fi $6{,}06 \times 10^{23}$ molecule pe moleculă-gram. Masa electronului a fost stabilită la $9{,}1 \times 10^{-28}$ g.

În felul acesta au fost complet determinate datele privitoare la electron. Dar cum stau lucrurile cu acele părţi ale atomilor care rămîn după ce electronii îi părăsesc ? Nu ar putea şi ele să ne spună cîte ceva ? Ar trebui, firește, să se deplaseze în direcţie contrară electronilor din tubul de descărcare, dar cum au dimensiuni mult mai mari, mişcarea lor va fi însoţită de mai multe ciocniri decît în cazul electronilor şi deci nu vor putea atinge aceeaşi energie şi nici nu vor produce aceleaşi efecte

Scanned with CamScanner

vizibile. Goldstein (1850—1931) a constatat în 1886 că efectele lor pot fi văzute dacă se practică găuri în catodul unui tub de descărcare ; el a văzut fascicule slabe pe partea tubului *opusă* anodului. Deşi era clar că ele au o sarcină pozitivă, nu păreau să fie deviate de un cîmp magnetic. Abia în 1898, Wien (1866—1938) a reuşit să obţină un cîmp suficient de puternic pentru a provoca o deviere vizibilă.

Măsurătorile raportului e/m nu au fost însă atît de clare ca acelea ale radiaţiilor catodice, ele arătînd numai că pentru hidrogen ordinul de mărime este acelaşi ca acel obţinut din electroliză. Pentru alte gaze s-a obţinut însă un domeniu continuu de valori. Thomson a fost de părere că această variaţie se datorează ciocnirilor care duc la ionizări suplimentare ; particulele au posibilitatea de a primi şi a pierde în mod continuu sarcină pe parcursul traiectoriei. În 1913 el a construit aparatul arătat în figura 52. Cîmpul electric şi cel magnetic sînt dispuse paralel şi deviază deci particulele sub unghiuri drepte. Presiunea era menţinută cît mai joasă posibil. El a găsit pe cale empirică mijlocul de a mări intensitatea descărcării, cum ar fi, de pildă, ungerea catodului cu calciu.

A obţinut de astă dată rezultate de o foarte mare importanţă. Se poate arăta că particulele cu o valoare dată a raportului e/m vor da pe ecran urme de formă parabolică, lungimea acestora indicînd că particulele au viteze diferite. Pentru hidrogen nu a găsit decît două urme pe care le-a atribuit atomilor şi moleculelor încărcate cu o singură sarcină.

Scanned with CamScanner

A fost prima indicaţie că hidrogenul este într-adevăr elementul „unitate" ; pînă atunci fusese aşezat pe primul loc fiindcă nu se cunoştea altul mai uşor. Dacă ar fi existat vreun indiciu că atomii de hidrogen pot pierde *două* sarcini negative, nu era exclusă posibilitatea existenţei unui atom şi mai uşor, avînd o singură sarcină. Dar hidrogenul era

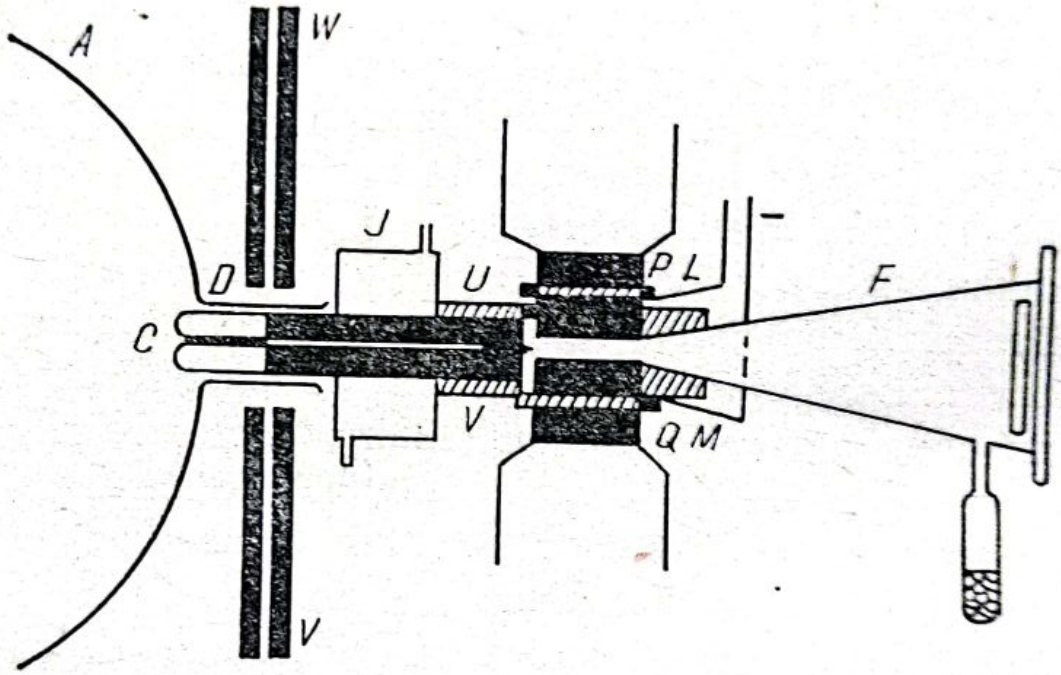


Fig. 52. Aparatul pentru stabilirea vitezei şi a raportului *e/m* pentru razele pozitive.

perfect determinat ; atomul de hidrogen cu o singură sarcină nu putea fi încărcat suplimentar şi, în consecinţă, trebuia să fie considerat drept unitate fundamentală. I s-a dat denumirea de proton. În cazul heliului au fost găsiţi atomi cu dublă sarcină şi astfel heliul urmează imediat după hidrogen.

Un rezultat neaşteptat s-a obţinut pentru neon — un element cu o greutate atomică puţin peste 20 ; neonul a dat două urme corespunzînd maselor

Scanned with CamScanner

20 şi 22. Pe Thomson şi pe colegul său Aston (1877—1945) aceasta i-a nedumerit. Putea oare masa mai grea să corespundă unui compus de tip NeH_2 ? Sau era vorba de un alt element ? Dar indiferent ce anume ar fi, corpul respectiv trebuia să posede proprietăţi fizice total diferite de cele ale neonului. Aston a încercat să-l separe prin lichefiere, dar gazul obţinut a dat acelaşi rezultat. Cei doi oameni de ştiinţă au fost nevoiţi să conchidă că atomii de neon sînt de două feluri, cu masele respectiv 20 şi 22.

Aşadar, atomii unui element nu sînt toţi la fel, cum crezuse Dalton. Atomii care nu diferă decît prin masă se numesc izotopi, iar noi spunem că neonul obişnuit are doi izotopi cu masa 20 şi 22 şi o abundenţă relativă a lor de nouă la unu. În felul acesta greutatea atomică a neonului — 20,2 (surprinzător de depărtată de un număr întreg) — a fost lămurită. Alţi atomi, ca de pildă clorul — 35,5 —, şi-au primit şi ei explicaţia. Încă o ciudăţenie a naturii a fost deci elucidată.

Nu ne putem opri aici asupra experienţelor efectuate de Aston în acest domeniu şi nici asupra măsurării precise a izotopilor cu ajutorul spectrografului de masă. Aceste măsurători au confirmat pe deplin concluziile la care ajunsese Thomson, dar în acelaşi timp au ridicat o problemă nouă. Cum se deosebesc între ei izotopii aceluiaşi element şi de ce sînt identice proprietăţile lor chimice ? Răspunsul la aceste întrebări poate fi dat abia după ce vom fi discutat fenomenele radioactivităţii, care vor constitui principalul subiect al capitolului următor.

Nu trebuie să ne lăsăm înşelaţi de importanţa deosebită a acestor descoperiri. Găsirea unor căi

Scanned with CamScanner

pentru explorarea lumii subatomice reprezintă o incontestabilă dovadă a puterii şi ingeniozităţii minţii omeneşti. Dar mai există încă mari probleme nelămurite. Cum se leagă între ei atomii pentru a forma materia, aşa cum o cunoaştem noi? Există speranţa să putem vedea vreodată modul în care se aranjează atomii într-o bucată de metal, de pildă, sau într-o substanţă chimică simplă, cum ar fi sarea de bucătărie?

Dacă prin cuvîntul „a vedea" înţelegem a observa în lumina vizibilă, atunci răspunsul este „nu". Lumina vizibilă are — aşa cum a arătat teoria lui Abbe — o lungime de undă de 10 000 de ori prea mare pentru a putea reda imaginea atomilor. Trebuia deci să se caute o radiaţie mai mică şi să se vadă ce se poate face cu ajutorul ei. Avea să corespundă oare radiaţia X? După cum se ştie, ea are o lungime de undă adecvată. Fizicienii nu stăpîneau însă în suficientă măsură metodele de folosire a radiaţiei X. Neputînd fi refractată, ea nu putea produce imagini asemănătoare cu cele produse de lentile. Exista oare un mijloc de a ocoli această dificultate?

Să considerăm problema dintr-un alt unghi. Conform teoriei lui Abbe, imaginea unui obiect este produsă prin interferenţa undelor împrăştiate; putem, firește, observa radiaţiile X împrăştiate. Ce putem deduce din ele? Laue a atacat această problemă cu ajutorul difracţiei tridimensionale, dar fără succes. Necunoscînd nici compoziţia radiaţiei şi nici felul în care atomii sînt aranjaţi în cristale, el nu a putut să dea imaginilor de difracţie obţinute de el o interpretare întru totul mulţumitoare. Reuşita s-a datorat unei încercări mult mai puţin com-

Scanned with CamScanner

plicate, întreprinsă de W. L. Bragg (născut în 1890). Acesta din urmă a efectuat un şir de experienţe originale de difracţie a radiaţiilor X ; *formele* spoturilor la distanţe diferite ale filmului faţă de cristal i-au dat convingerea că are loc ceva asemănător reflexiei. Dar radiaţiile X nu pot fi reflectate în modul obişnuit. Atunci i-a venit o idee extraordinar de fecundă ; nu putea oare cristalul să se comporte ca şi cum ar conţine o succesiune de plane egal distanţate ? Fiecare plan putea împrăştia o mică parte din radiaţie, dar efectul total al unui mare număr de plane putea fi considerabil. Un efect puternic nu s-ar obţine însă decît în cazul în care undele emise de diferitele plane s-ar amplifica reciproc. Bragg a investigat această posibilitate şi a constatat că condiţia necesară era ca undele să se supună legii reflexiei, dar numai pentru unghiurile date de ecuaţia

$$n\lambda = 2d \sin \Theta.$$

În această ecuaţie — cunoscută sub denumirea de ecuaţia lui Bragg — n este un număr întreg, λ este lungimea de undă a radiaţiei, d este distanţa dintre plane succesive, iar Θ este unghiul pe care îl face raza incidentă cu planul de reflexie, precum şi cel de „reflexie". Valorile posibile ale lui Θ sînt cunoscute sub denumirea de unghiurile lui Bragg.

Dar ce reprezintă planele ? Răspunsul era limpede. Ele sînt plane abstracte trasate în diferite direcţii ale reţelei cristaline. La cristalele simple, ele pot trece prin centrul atomilor (fig. 53), dar nu întotdeauna se întîmplă aşa. Intensităţile „reflexiilor" — cum sînt denumite, deşi este vorba de difracţii de diferite ordine — ar trebui să ne furni-

Scanned with CamScanner

zeze unele informaţii despre poziţia atomilor. Bragg şi tatăl său — W. H. Bragg (1862—1942) — au hotărît să valorifice această idee, construind un instrument pe care l-au denumit spectrometru cu ca-

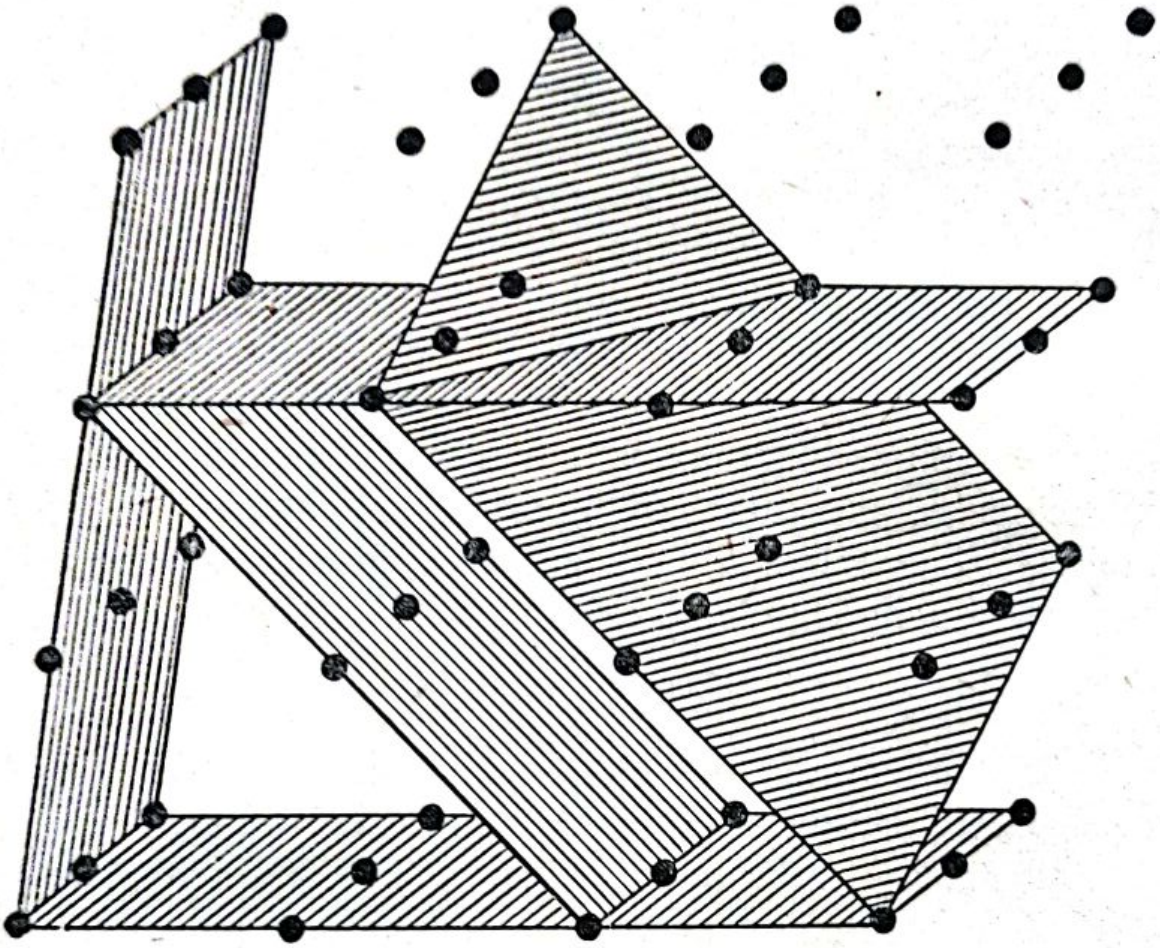


Fig. 53. Plane posibile într-un cristal. Este înfăţişat un cristal simplu, cu cîte un singur atom în fiecare nod al unei reţele tridimensionale ; au fost marcate prin haşurare cîteva plane care conţin aceşti atomi şi anume, plane cu orientări diferite.

meră de ionizare (fig. 54). Instrumentul era alcătuit din elemente corespunzătoare celor ale unui spectrometru obişnuit. Colimatorul a fost înlocuit prin două fante înguste ; cristalul era aşezat pe o masă rotativă, iar radiaţiile X reflectate erau detec-

Scanned with CamScanner

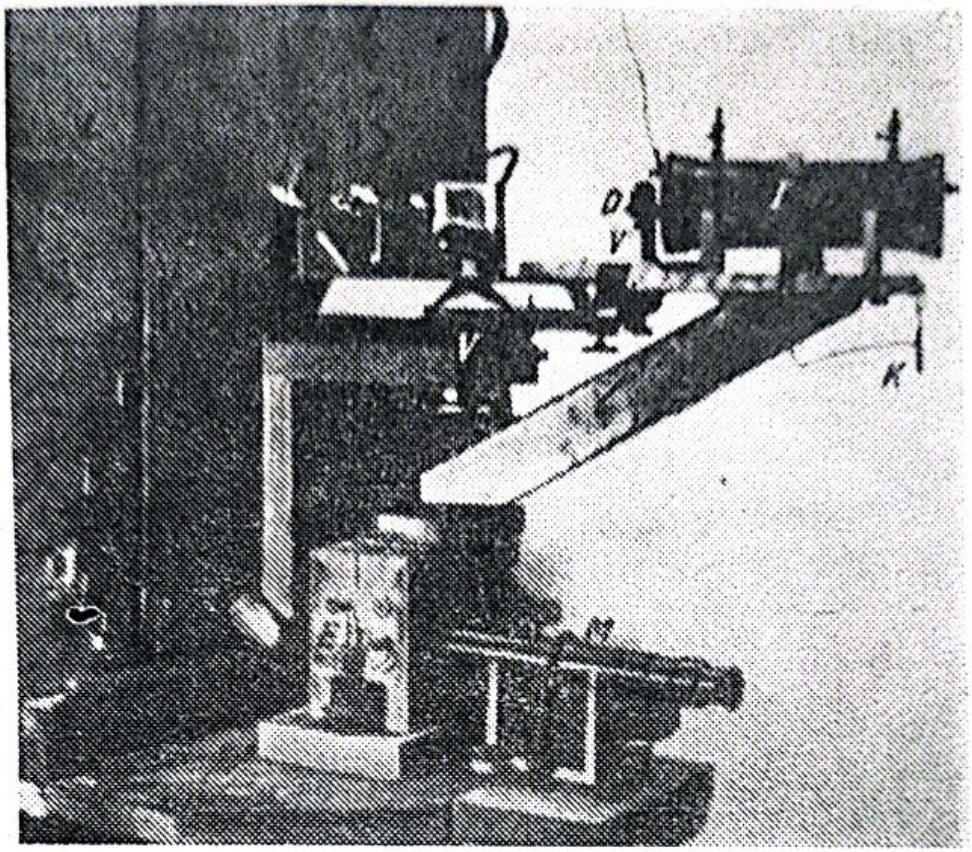


Fig. 54. Spectrometrul cu cameră de ionizare.

tate de o cameră de ionizare care măsura ionizarea produsă.

Cu acest instrument cei doi Bragg, tatăl şi fiul, au rezolvat prima dintre problemele lui Laue ; radiaţiile X emise de tubul lor aveau un fond continuu, denumit radiaţie „albă", şi cîteva linii spectrale înguste, specifice ţintei folosite. (Existenţa acestei radiaţii fusese dedusă de Barkla din experienţele de împrăştiere efectuate de el şi va fi discutată într-un capitol următor.) Datele obţinute au constituit baza lucrărilor ulterioare ale celor doi Bragg.

Ei au hotărît să se concentreze mai întîi asupra cristalelor simple, prezentînd o simetrie cubică, şi au ales sarea obişnuită, NaCl, şi sarea izomorfă ei,

Scanned with CamScanner

KCl. Rezultatele pe care le-au obţinut sînt arătate în figura 55. Este imposibil să discutăm aici toate implicaţiile acestor rezultate, dar printr-o simplă

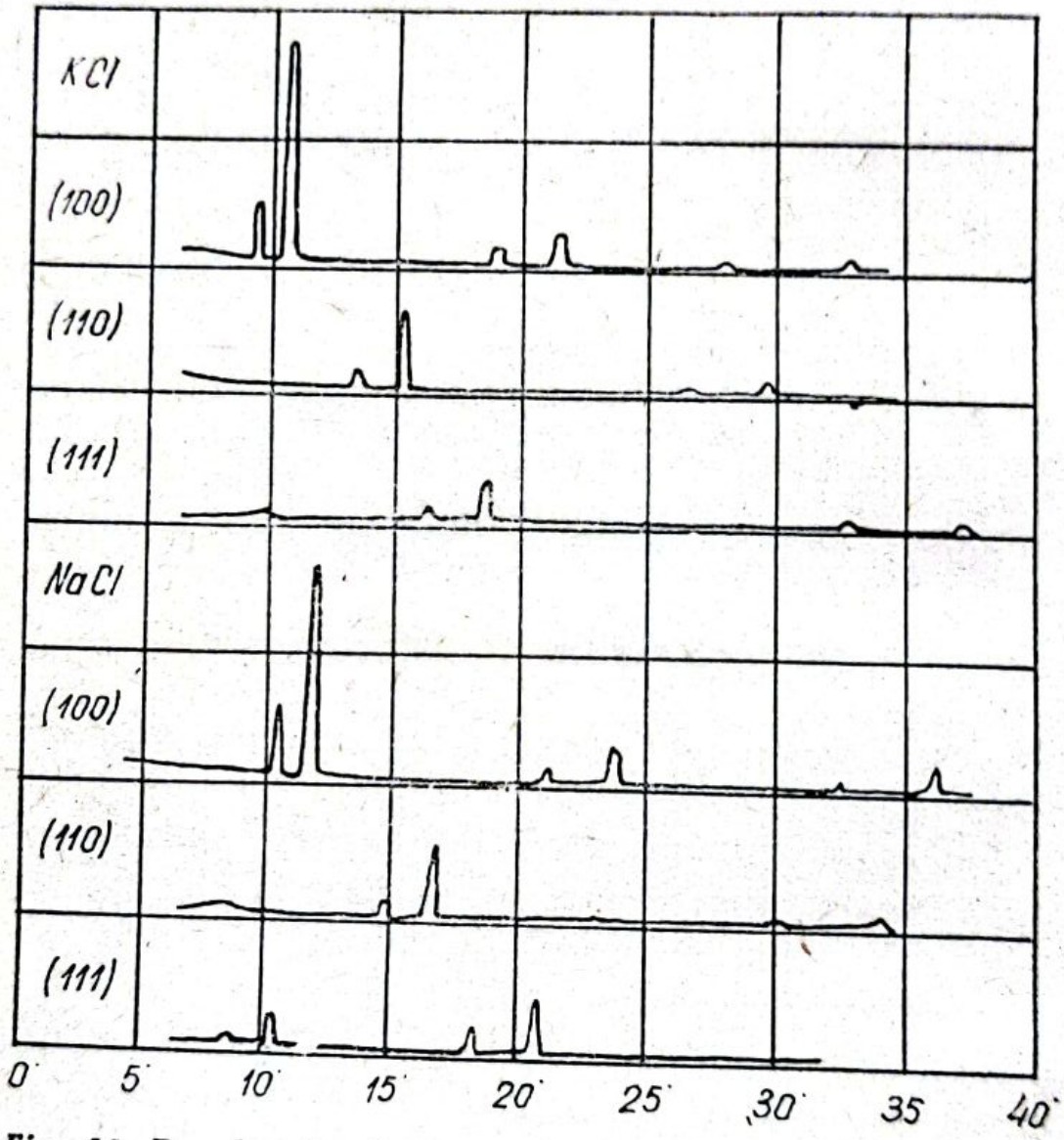


Fig. 55. Rezultatele obţinute pentru clorura de sodiu şi clorura de potasiu cu ajutorul spectrometrului de ionizare.

examinare se poate vedea că ele ne oferă următoarea informaţie. În primul rînd, ele arată existenţa a două linii spectrale, una intensă, denumită $K\alpha$, şi una mai slabă, denumită $K\beta$. În al doilea rînd,

Scanned with CamScanner

ele confirmă legea lui Bragg pentru fiecare grup de plane, cum sînt cele marcate 100 (unu, zero, zero) pentru KCl. În al treilea rînd, ele arată că intervalele dintre cele trei grupe — 100, 110 şi 111 — pentru fiecare din cele două cristale se aflau în rapoartele $1 : 1/\sqrt{2} : 2/\sqrt{3}$, în conformitate cu simetria cubică a cristalului.

O oarecare dificultate s-a ivit din faptul că aparent nu există reflexia de ordin unu din grupa de plane (111) pentru KCl, dar aceasta se explică fără greutate prin cvasiegalitatea dintre K şi Cl, care au un număr de electroni aproape egal. Rezultatele concordau cu modul de aranjare a atomilor prezentat în figura 56. A fost prima structură cristalină dedusă în 1913 de W. L. Bragg.

N-ar fi o exagerare dacă am spune că rezultatul obţinut este cel mai bogat în consecinţe din întreaga ştiinţă, deoarece a deschis perspective noi în aproape toate domeniile. Chimiştilor le-a oferit o nouă cale de studiere a comportării atomilor ; aceştia nu alcătuiesc nemijlocit moleculele de NaCl (rezultat care, la timpul său, a fost pentru mulţi chimişti greu de digerat), ci acţionează ca ioni. Mineralele puteau fi clasificate în conformitate cu modul de aranjare a atomilor. Elementele au prezentat de cele mai multe ori structuri de o splendidă simplitate şi întreaga fizică actuală a corpului solid se bazează pe cunoştinţele obţinute cu ajutorul difracţiei radiaţiilor X. Acum e rîndul biologiei : la cincizeci de ani după experienţa efectuată de Bragg, compuşi ca hemoglobina, de o extraordinară complexitate în comparaţie cu sarea obişnuită, încep să fie explicaţi cu succes.

Scanned with CamScanner

Dar care este de fapt contribuţia lui Bragg? Cum a ocolit el problema ridicată de Abbe? El a postulat pur şi simplu un anumit aranjament al atomilor şi, prin calcul, a găsit că dă o imagine de difracţie identică cu cea observată. Această me-

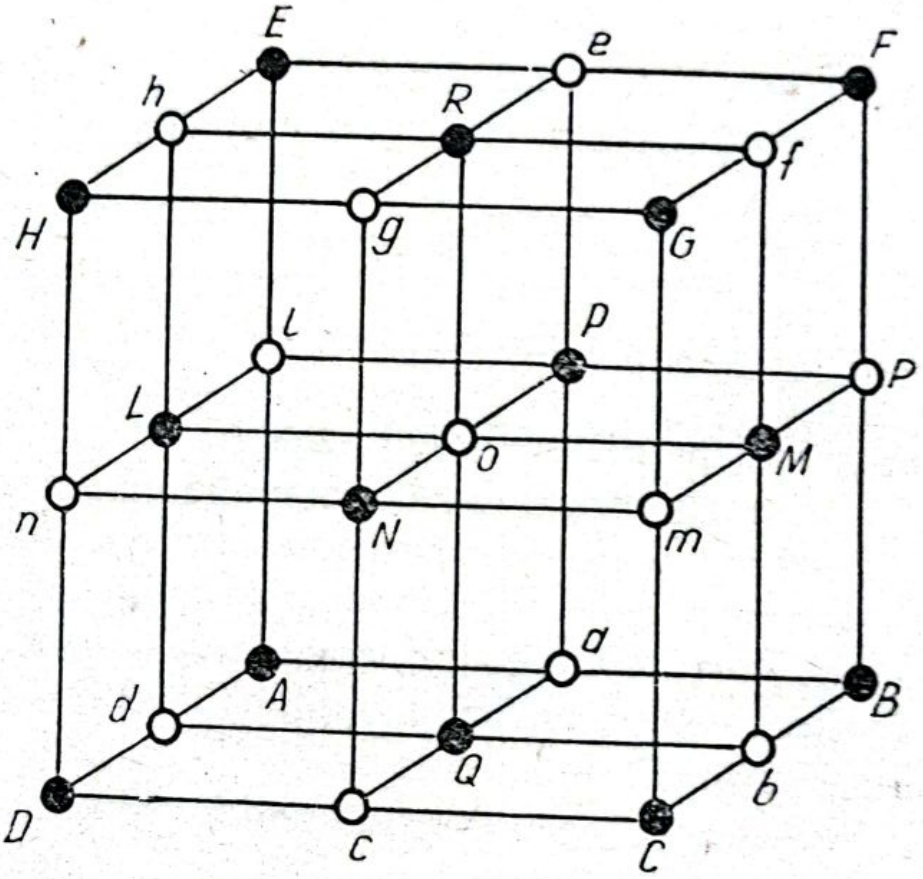


Fig. 56. Prima structură cristalină — cea a clorurii de sodiu. Punctele negre reprezintă clorul, iar cerculeţele — sodiul.

todă — „încercare — constatarea erorii" — a fost folosită cu succes timp de mulţi ani, dar acum putem merge mult mai departe. Putem să obţinem cu ajutorul maşinilor electronice de calcul imagini ale poziţiei reale a atomilor. Aceste imagini sînt mai exacte decît imaginile optice, deoarece se foloseşte o bandă mai largă de radiaţie împrăştiată; pe de

Scanned with CamScanner

altă parte, obţinem imagini tridimensionale. Dar în principiu ele sînt echivalente cu cele obţinute cu ajutorul microscoapelor şi se poate spune că Bragg, tatăl şi fiul, sînt întemeietorii unei noi ramuri a fizicii — microscopia cu radiaţii X. Cu ajutorul ei a fost umplut golul ce exista în posibilitatea de vizualizare a luminii care se întindea între atomii individuali şi materia structurată, aşa cum o cunoaştem noi.

Scanned with CamScanner

11

Structura atomilor

Acest capitol este o continuare a celui precedent ; atomii reprezintă elementele constitutive ale materiei şi de aceea proprietăţile materiei se bazează pe proprietăţile atomilor. După cum am văzut, la sfîrşitul secolului al XIX-lea existau suficiente dovezi că, într-un fel sau altul, atomii au o anumită structură. Lucrările asupra electrolizei, descoperirea electronului, afinitatea chimică — toate arătau că există ceva „mai adînc", care trebuia găsit. Cît de lung era drumul parcurs de la prima teorie atomică a lui Dalton, potrivit căreia se presupunea că atomii reprezintă elementele constitutive fundamentale şi că lumea constă dintr-un număr dat de atomi de diferite tipuri ale căror proprietăţi caracteristice au rămas neschimbate din vecii vecilor !

In special existenţa electronului a schimbat toate aceste concepţii. Toţi atomii trebuie să conţină

electroni. Dar cum ? Fizicienii nu puteau decît „să filozofeze" pe baza cunoştinţelor pe care le posedau din fizica clasică. Treptat, concepţiile lor au ajuns să conveargă spre o singură teorie, şi anume teoria lui Thomson, care susţinea că atomii sînt ca un fel de „cozonac cu stafide", în care cozonacul este o substanţă pozitivă încărcată, iar stafidele — electronii (aflaţi într-o continuă agitaţie). Lucrul acesta nu putea fi dovedit, dar se sprijinea pe tot felul de analogii.

Analogiile trebuie întotdeauna privite cu suspiciune, deşi pentru minţi competente ele pot avea o valoare imensă. Ele nu pot însă constitui o dovadă. Dificultatea în domeniul care ne interesează aici consta în găsirea unei metode directe. Aşa cum am mai arătat, această metodă directă nu a apărut pentru că a fost căutată, ci ca rezultat al unei observaţii întîmplătoare făcută într-un domeniu cu totul diferit. Aceasta a fost descoperirea radioactivităţii de către A. H. Becquerel (1852—1908). Becquerel era fiul celui ce descoperise spectrul ultraviolet şi nepotul unui alt fizician cunoscut, aşa încît se poate spune că avea fizica în sînge. Opera sa de căpetenie a fost realizată în 1896, la un an după descoperirea radiaţiei X şi un an înainte de descoperirea electronului — trei evenimente memorabile care au schimbat din temelii întreaga fizică.

Becquerel căuta, pe cît se pare, o radiaţie emanată de o sare — sulfatul dublu de uraniu şi potasiu. Cîteva plăci fotografice aflate în acelaşi sertar cu aceste săruri se voalaseră şi el dorea să afle motivul. Este cazul să menţionăm că şi alţi cercetători observaseră fenomenul şi, în consecinţă, îşi ţineau plăcile departe de săruri. Becquerel a crezut că ac-

Scanned with CamScanner

ţiunea razelor solare ar putea determina substanţa să emită o formă de radiaţie asemănătoare radiaţiei X şi de aceea a aşezat o bucată din sarea de mai sus la soare, pe o placă fotografică învelită în hîrtie neagră. Şi, într-adevăr, după developare a apărut pe placă o pată neagră. Efectul a putut fi reprodus, ceea ce constituie întotdeauna primul test al unei experienţe. Dar apoi a descoperit că acelaşi efect se produce şi atunci cînd nu existau raze solare, ba chiar cînd experienţa era efectuată în întuneric. El şi-a dat seama că descoperise un fenomen nou, pe care l-a numit „radioactivitate".

Becquerel a studiat foarte temeinic efectul. A arătat că toţi compuşii uraniului sînt radioactivi, aproximativ în aceeaşi proporţie cu cantitatea de uraniu pe care o conţineau. Între —200°C (temperatura aerului lichid) şi +200°C, efectul nu depindea de temperatură. Radioactivitatea putea să descarce electroscopul ; cu alte cuvinte, putea produce o ionizare — întocmai ca şi radiaţia X. Ce reprezenta ea de fapt ?

Acum trebuie să descriem un alt eveniment care a provocat o profundă emoţie în lumea fizicii, deşi în esenţă nu era decît o continuare a lucrărilor lui Becquerel. Este vorba de descoperirea radiului în 1898 de către Pierre şi Marie Curie. Radiul nu diferă prea mult de uraniu, dar este de aproximativ un milion de ori mai radioactiv. Fără radiu, majoritatea descoperirilor care au urmat nu ar fi putut fi efectuate şi, probabil, că astăzi am mai continua să căutăm o explicaţie pentru radioactivitate. Istoria acestei descoperiri merită să fie expusă.

Pierre Curie (1859—1906) era deja un eminent fizician care adusese o importantă contribuţie în di-

Scanned with CamScanner

ferite domenii ale fizicii. Numele său este imortalizat în termenul „punctul Curie", care indică temperatura la care un material feromagnetic încetează a mai fi feromagnetic. Soţia sa (1867—1934) i-a stîrnit interesul pentru noua descoperire şi ei au hotărît să măsoare radioactivitatea relativă a compuşilor uraniului proveniţi din surse diferite.

Aparatul pe care l-au folosit este prezentat în figura 57. El constă doar dintr-o pereche de discuri metalice cu diametrul de 8 cm, aflate la o distanţă de 3 cm unul de celălalt şi între care se aplică o diferenţă de potenţial de aproximativ 600 V, materialul examinat fiind întins pe placa inferioară sub forma unui strat uniform. Un galvanometru sensibil a indicat după un anumit timp un curent de saturaţie de ordinul a 10^{-11} A.

Uraniul metalic producea un curent de $2{,}3 \times 10^{-11}$ A. Dar minereul de pechblendă provenit de la Johanngeorgenstadt indica de aproximativ patru ori această valoare, adică $8{,}3 \times 10^{-11}$ A. Evident, ei ar fi putut să înregistreze observaţia şi să nu se mai ocupe de această chestiune. În definitiv, nu era nici măcar vorba de un ordin de mărime cine ştie ce înalt. Dar fenomenul le-a stîrnit curiozitatea şi au încercat să-şi dea seama dacă acelaşi compus, realizat pe cale artificială, prezenta un nivel la fel de ridicat de radioactivitate. Curentul obţinut nu a fost însă decît de $0{,}9 \times 10^{-11}$ A. Aşadar, se dovedise că radioactivitatea materialului de origine naturală era efectiv mai intensă cu un ordin de mărime.

Soţii Curie au presupus că exista în el o urmă slabă a ceva *mult* mai radioactiv, aşa încît au încercat o separare chimică, verificînd apoi radioac-

Scanned with CamScanner

tivitatea diferitelor fracţiuni. Şi, într-adevăr, una din fracţiuni, obţinută prin metode similare celor utilizate la separarea bariului, a generat o radiaţie care creştea continuu pe măsură ce separarea era mai completă. În cele din urmă s-a obţinut o asemenea intensitate încît nu mai încăpea îndoială că descoperiseră o sursă nouă şi extrem de puternică

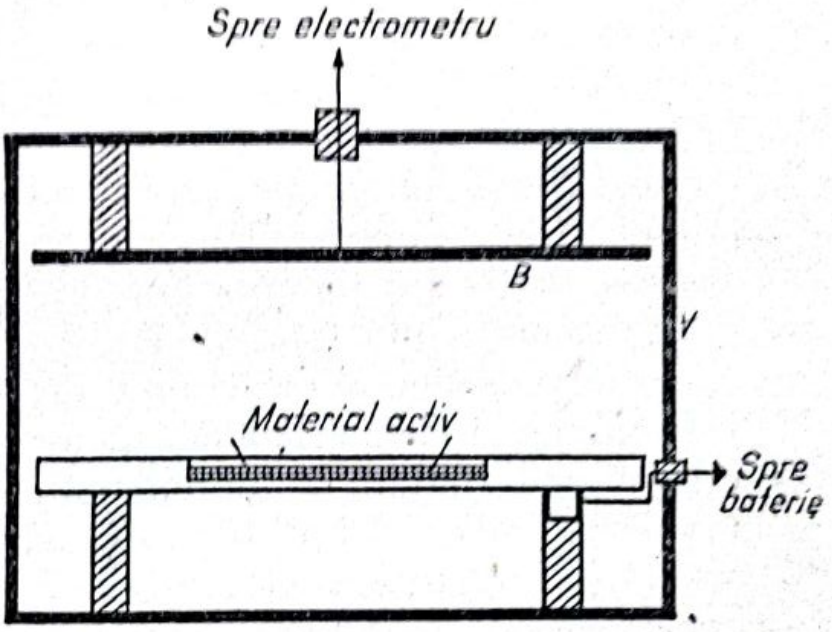


Fig. 57. Schiţa aparatului folosit de soţii Curie pentru măsurarea radioactivităţii.

de radioactivitate, sursă pe care au verificat-o prin observarea spectrului ei optic. Ei au găsit trei linii slabe de bariu, dar în acelaşi timp şi linii mult mai intense, datorate unui element necunoscut pe care l-au denumit radiu. În cele din urmă au reuşit să obţină eşantioane de un milion de ori mai radioactive decît uraniul.

Lucrările lor erau extrem de laborioase. Analizele chimice cereau un timp îndelungat şi erau efectuate

Scanned with CamScanner

în condiţii dificile, fără un laborator corespunzător şi fără mari subsidii pentru cercetare. Soţii Curie erau recunoscători celor care le trimiteau în mod gratuit eşantioane de pechblendă pentru lucrările lor. Şi cînd au înţeles că sînt pe cale să realizeze ceva cu totul deosebit, ei nu au ezitat să-şi concentreze toate eforturile asupra acestei lucrări.

Sărurile de radiu pure erau uluitoare. Cîteva centigrame puteau face ca un ecran de sulfură de zinc să se lumineze la o distanţă de cîţiva centimetri, iar efectul putea fi observat chiar dacă se interpunea o placă de plumb de o grosime considerabilă. Nu este de mirare că întreaga omenire civilizată a fost uimită de această descoperire şi că povestea activităţii soţilor Curie, consacrată ştiinţei, a căpătat o atît de largă notorietate.

Apăruse un fenomen nou, care punea la încercare minţile fizicienilor şi, firește, numeroase laboratoare au început să se ocupe de el. Dar dintre toate numele unuia a ieşit în mod deosebit în evidenţă — cel al lui Rutherford (1871—1937). În tinereţe el se ocupase mai mult de fizica aplicată şi visa să facă avere prin valorificarea recentei descoperiri a undelor electromagnetice în domeniul comunicaţiilor. Nu e exclus că ar fi putut reuşi, căci avea o inteligenţă potrivită pentru o asemenea activitate. Radioactivitatea l-a atras însă în aşa măsură, încît i s-a consacrat pentru tot restul vieţii.

Rutherford avea însuşirile unui mare om de ştiinţă. Ştia în mod intuitiv care sînt etapele importante care trebuiau parcurse în desfăşurarea cercetării. Atunci cînd totul este nou, te poţi lesne lăsa antrenat în studierea a tot felul de detalii minore, deoarece nu ştii că sînt minore. Faraday şi

Scanned with CamScanner

Rutherford au avut multe însuşiri comune — amîndoi erau înainte de toate experimentatori ; cu toate că în timpul studenţiei Rutherford avusese rezultate foarte bune la matematică, nu recurgea prea mult la ea. Numai puţine din articolele sale conţin multă matematică şi, în majoritatea cazurilor, este vorba de o matematică destul de elementară. Deosebirea dintre Faraday şi Rutherford constă în faptul că primul s-a ocupat de aproape întregul domeniu al fizicii — ba chiar, în bună parte, şi de acela al chimiei —, în timp ce al doilea era un cercetător specializat. Nu este exclus ca şi Faraday să se fi văzut nevoit să devină un cercetător specializat dacă ar fi trăit cu un secol mai tîrziu.

Rutherford şi-a propus să stabilească natura radiaţiei provenite de la substanţele radioactive. Era ea o entitate simplă, ca în cazul radiaţiei X, sau un amestec ? Acţiunea fotografică, fluorescenţa şi ionizarea nu puteau să distingă undele de particule, aşa încît Rutherford s-a hotărît să efectueze două tipuri de măsurători — a absorbţiei şi a devierii magnetice.

Rezultatele cercetărilor sînt rezumate într-una din cele mai cunoscute — dar în acelaşi timp mai amăgitoare — diagrame din domeniul fizicii (fig. 58). Ea a fost prezentată pentru prima dată de doamna Curie în teza sa de doctorat (1903) şi de atunci este reprodusă în aproape toate manualele de fizică. Diagrama prezintă cele trei radiaţii — α, β şi γ — atunci cînd asupra lor acţionează un cîmp magnetic orientat spre planul hîrtiei. Dar această prezentare este pur ilustrativă ; în timp ce devierea radiaţiei β este foarte uşor de detectat, cea a radiaţiei α este extrem de greu detectabilă şi

Scanned with CamScanner

necesită, aşa cum vom vedea, metode deosebit de subtile pentru a o descoperi. Diagrama ar trebui să fie întotdeauna însoţită — aşa cum se face şi în lucrarea lui Rutherford intitulată *Radioactivity* — de afirmaţia că devierea radiaţiei α este mult exagerată.

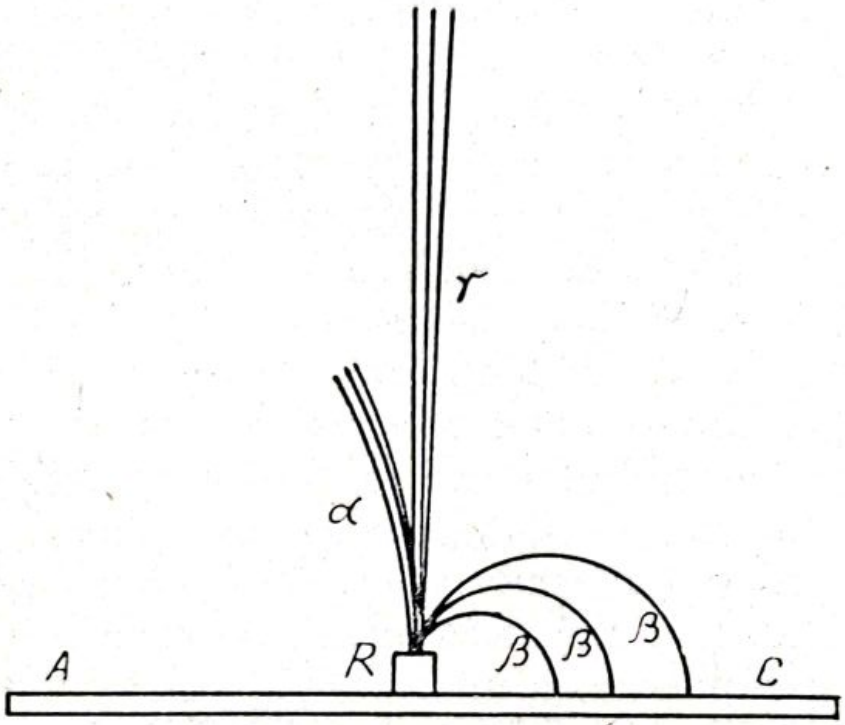


Fig. 58. Devierea radiaţiilor α, β şi γ într-un cîmp magnetic orientat perpendicular de planul figurii. Devierea radiaţiei este mult exagerată.

Deoarece sînt atît de uşor deviate, radiaţiile β au fost primele care s-au pretat cercetării. Rutherford s-a convins că ele se comportă exact în acelaşi mod ca şi radiaţiile catodice şi deci reprezintă probabil electroni în mişcare. În 1900 Becquerel a stabilit prin metode fotografice că în cazul lor valoarea raportului e/m (p. 207) este aproximativ aceeaşi ca în cazul electronilor, dar vitezele lor sînt de ordinul

Scanned with CamScanner

a aproximativ jumătate din viteza luminii. Rutherford şi-a dat seama că asemenea viteze nu se puteau produce în mod instantaneu şi a considerat că electronii trebuie să fie într-o mişcare extrem de agitată în interiorul atomului, „fugind" într-un fel sau altul din el la întîmplare.

Pasul următor a constat în examinarea a ceea ce mai rămîne din radiaţie după devierea radiaţiilor β. Este oare şi acest rest deviabil ? Rutherford s-a hotărît să-şi continue investigaţiile pînă la capăt, ceea ce însemna utilizarea unor fascicule foarte fine produse de fante înguste. Acum faptul că-i stătea la dispoziţie radiul a căpătat o importanţă covîrşitoare. Radiaţa emanată de uraniu, de pildă, ar fi fost prea slabă pentru a fi detectată în cazul unor limitări cum sînt cele mai sus menţionate. Dar cu folosirea radiului apărea o altă situaţie : radiul emana un gaz — numit emanaţia radiului — care era el însuşi radioactiv şi era deci foarte important ca aparatul să fie astfel construit încît să nu permită pătrunderea gazului.

Radiaţiile care rămîneau după devierea radiaţiilor β produceau o puternică ionizare a aerului. Rutherford a constatat că valoarea acestei ionizări era de aproximativ o sută de ori mai mare decît cea datorată radiaţiilor β. În 1903 el a folosit acest fenomen pentru a măsura devierea magnetică cu ajutorul unui aparat ca acela prezentat în figura 59. Pentru a obţine maximum de intensitate a utilizat un şir de plăci de alamă paralele, care aveau rolul de colimatoare. Folia de aluminiu fixată deasupra era suficient de groasă ca să permită trecerea majorităţii radiaţiilor, dar în acelaşi timp să excludă emanaţia radiului. În cazul cînd nu se aplica nici

Scanned with CamScanner

un cîmp, viteza de descărcare a electroscopului era de 8,33 $V \cdot min^{-1}$; aplicîndu-se un cîmp magnetic de aproximativ 8 000 gauss, viteza de descărcare se reducea la 1,72 $V \cdot min^{-1}$. Aşadar, aceste radiaţii *erau deviate*. Pentru a determina sensul deviaţiei,

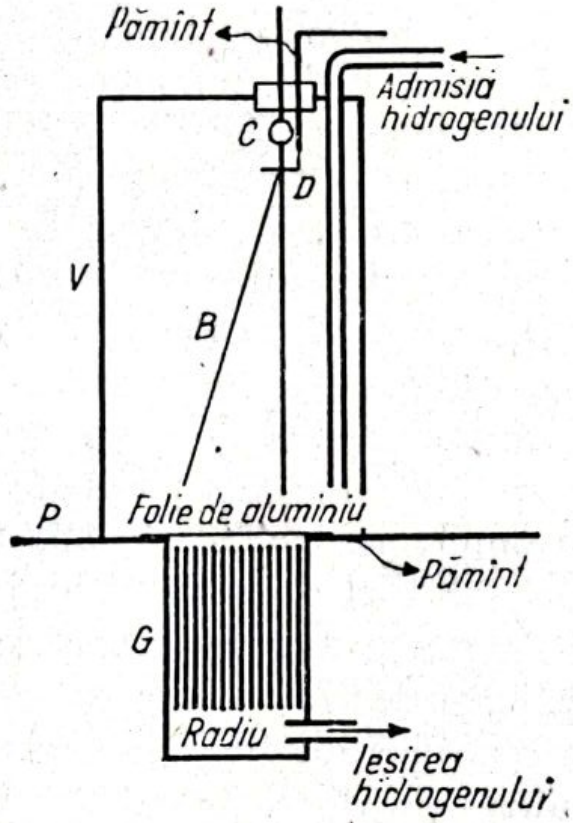


Fig. 59. Aparatul folosit de Rutherford pentru a detecta devierea radiaţiei α.

era suficient să se modifice forma fantelor; s-a stabilit astfel că sensul deviaţiei este opus celui al radiaţiilor β; radiaţiile α erau deci încărcate pozitiv.

În felul acesta fuseseră depistate două feluri de radiaţii. Mai exista oare şi altceva? Chiar în cazurile cînd radiaţia generată de radiu străbătea suficientă substanţă pentru a elimina radiaţiile α şi β,

Scanned with CamScanner

se mai observa totuşi un nivel foarte redus de ionizare — de aproximativ 10^{-4} din cea produsă de radiaţia α. În 1900 Villard a demonstrat că lucrul acesta se datora unei alte componente, denumită radiaţie γ. El a folosit o metodă fotografică pentru a o detecta şi a demonstrat că aceste radiaţii erau mult mai penetrante decît cele mai „dure" radiaţii X cunoscute pînă atunci. Trebuie menţionat că nu exista nici cea mai mică dovadă că aceste radiaţii ar putea fi deviate de un cîmp magnetic sau electric.

Şi acum, după ce fuseseră găsite proprietăţile celor trei tipuri de radiaţii, puteau fi analizate radiaţiile emise de diferite substanţe radioactive. Aşa, de pildă, s-a constatat că poloniul — element destul de puternic radioactiv, descoperit de soţii Curie atunci cînd căutau radiul — nu produce decît radiaţii α: după ce întreaga radiaţie a străbătut suficientă substanţă pentru a elimina radiaţiile α, nu s-a mai observat nici o urmă de ionizare. Dar nu toate radiaţiile α sau β aveau aceleaşi proprietăţi, şi astfel devenise limpede că ele difereau de la element la element. Emisia de radiaţii β era însă întotdeauna însoţită de radiaţii γ.

După cum am văzut, primii cercetători s-au convins repede că radiaţiile β reprezentau de fapt electroni foarte rapizi. Dar ce erau radiaţiile α? Valorile obţinute pentru raportul e/m nu au fost de prea mare ajutor. Dificultatea unei măsurări exacte pleda pentru renunţarea la obţinerea unei mari precizii. Dar pe cît a fost posibil să se stabilească, valoarea raportului e/m era pentru radiaţia α emisă de radiu de $6 \cdot 10^4$ coulombi $\cdot$ g^{-1}. Această valoare reprezenta aproximativ jumătate din echivalentul electrochimic al hidrogenului, aşa încît particulele α

Scanned with CamScanner

trebuiau să aibă dimensiuni atomice ; dacă transportau sarcini unitare, ele trebuiau să aibă dublul masei hidrogenului. Rutheford a intuit că ele trebuie să fie sau atomi de hidrogen, sau atomi de heliu. În 1908 ajunsese să fie aproape sigur că sînt heliu.

Dar cum putea să fie *absolut* sigur ? A încercat să atace problema frontal, şi anume identificarea directă prin analiza spectroscopică. Această experienţă demonstrează, mai mult decît oricare alta, capacitatea lui Rutherford de a recurge la mijloace neobişnuite pentru rezolvarea unei probleme. Azi spectroscopia ne apare, firește, ca metoda cea mai adecvată, dar cercetătorilor de atunci — obişnuiţi cu ionizarea şi fotografierea, cu cîmpurile electrice şi magnetice — metoda trebuie să le fi părut extrem de neobişnuită. A fost, cert, una din cele mai frumoase şi în acelaşi timp mai convingătoare experienţe efectuate în fizică.

Ideea lui Rutherford a constat în a colecta suficiente particule α pentru a putea trece prin ele o descărcare electrică. El trebuia însă să fie sigur că orice ar fi constatat nu putea să fie nici venit pe altă cale şi nici produs într-un alt mod. De aceea, împreună cu Royds, a imaginat aparatul prezentat în figura 60. Partea cea mai importantă a aparatului este tubul A — un tub foarte subţire din sticlă realizat cu multă îndemînare de un suflător în sticlă extrem de experimentat — care conţinea emanaţie de radiu purificată. Se ştie că această emanaţie nu emite decît radiaţii α. După un anumit timp, gazul obţinut în tubul vidat T putea fi comprimat în tubul de descărcare V şi, în felul acesta, putea fi examinat. Dacă nu se obţinea nici un re-

Scanned with CamScanner

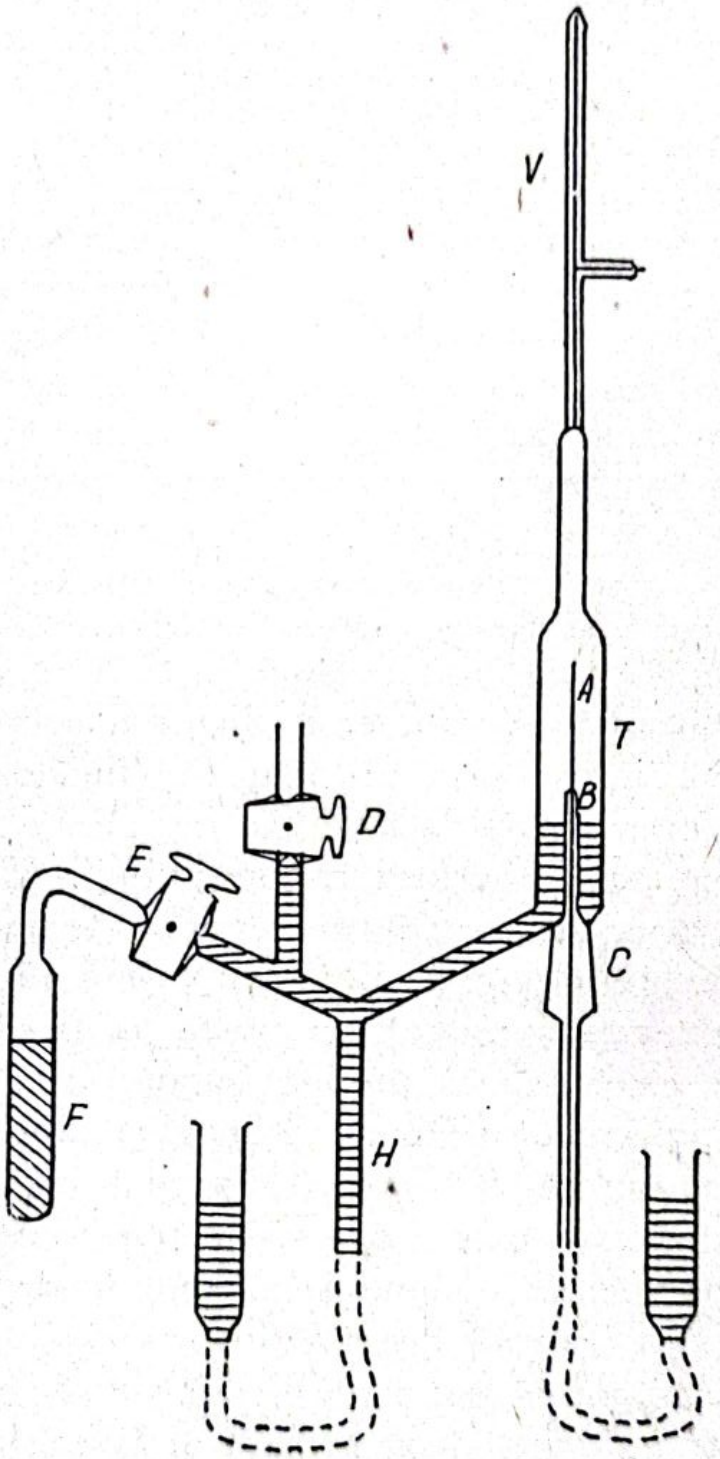


Fig. 60. Aparatul folosit de Rutherford și Royds pentru a demonstra că particulele α sînt ioni de heliu.

Scanned with CamScanner

zultat, gazul putea fi din nou expandat şi lăsat o perioadă mai lungă.

După 24 de ore, cei doi experimentatori au efectuat prima observaţie, dar n-au avut ce vedea. În ziua următoare au încercat din nou. De astă dată au observat o linie galbenă extrem de slabă — exact pe locul celei mai intense linii a heliului. Dar o singură linie nu era suficientă. După patru zile au fost observate liniile galbenă şi verde ale heliului, iar după şase zile — practic întregul spectru al heliului.

Ne putem lesne imagina cît de încîntaţi au fost cei doi savanţi la obţinerea acestui rezultat. Experienţa a fost magistral condusă şi, după cum se dovedise, necesitase o perioadă de timp suficient de îndelungată pentru a menţine „suspensul" aşteptării. Nu mai încăpea nici o îndoială că particulele α erau atomi de heliu purtători de sarcini, iar din valoarea raportului e/m se putea deduce că ei transportau o sarcină dublă. Cu alte cuvinte, erau ioni de heliu. Rutherford a fost în măsură să anunţe acest rezultat patru săptămîni mai tîrziu, atunci cînd i-a fost decernat premiul Nobel pentru chimie.

De atunci, particulele α au devenit uneltele de cercetare favorite ale lui Rutherford ; pentru el căpătaseră aproape o personalitate distinctă, atît de mult îi ocupau gîndurile. Fiind particule cu masă mare, care se deplasează cu 1/10 din viteza luminii, puteau fi foarte distrugătoare pentru atomii pe care îi ciocneau. Dar o relatare completă a lucrărilor efectuate în acest domeniu de Rutherford şi de colaboratorii săi ne-ar îndepărta prea mult de obiectul pe care ni l-am propus în această lucrare.

Scanned with CamScanner

Principala problemă care trebuia lămurită acum era, evident, de a afla ce se întîmplă în interiorul unor atomi, cum ar fi cei de radiu, pentru a putea genera fenomenul emisiei electronilor, a unor atomi de heliu purtători de sarcini şi a unei radiaţii penetrante despre care se constatase că este, aproape cert, asemănătoare radiaţiilor X ! În 1904, Rutherford era convins că radioactivitatea constituie o dovadă a dezintegrării atomilor. Atomii radioactivi nu sînt stabili ; din cînd în cînd ei se descompun spontan şi emit o parte din substanţa lor — o particulă α. Ia naştere astfel un alt tip de atom, care şi el poate fi instabil. Şi lucrul acesta se repetă pînă ce se ajunge la o oarecare stabilitate şi ia naştere un element neradioactiv.

A venit momentul să vorbim despre una din experienţele efectuate cu radiaţii α, deoarece a fost una dintre cele mai importante experienţe din fizică. Este vorba de împrăştierea particulelor α de către materie, experienţă ce a dus la concluzia că atomul conţine un nucleu de dimensiuni extrem de reduse, în care este concentrată aproape întreaga lui masă — deci un concept complet diferit de „cozonacul cu stafide“ imaginat de J.J. Thomson.

Istoria acestei experienţe este interesantă deoarece, după cît se pare, a fost efectuată în mod accidental. Ar părea nedrept ca o personalitate cum a fost Rutherford, care îşi pregătea experienţele cu o finalitate precisă, să fi făcut poate cea mai importantă descoperire a sa în urma unei întîmplări. Dar şi fără această descoperire acumulase suficientă glorie. După cît se pare, el avea întotdeauna gata pregătite un număr de experienţe „neimportante“, anume pentru formarea unor noi cercetători din rîn-

dul studenţilor săi ; nu era nici o nenorocire dacă aceste experienţe nu reuşeau, căci scopul lor era ca studenţii să înveţe să lucreze cu aparatura respectivă.

Astfel, în 1909, Marsden (n. în 1889), lucrînd sub conducerea lui Gaifer (n. în 1882), a primit ca temă să stabilească dacă particulele α pot fi reflectate pe o folie de aur. Metoda utilizată se baza pe unul din dispozitivele preferate ale lui Rutherford — fluorescenţa unui ecran din sulfură de zinc sub acţiunea particulelor α. Folosind o sursă foarte slabă şi un microscop cu rezoluţie redusă, un observator ai cărui ochi erau obişnuiţi cu întunericul putea vedea scînteieri individuale. Fiecare scînteiere reprezenta ciocnirea unei particule α. Este într-adevăr foarte impresionant ca un proces atomic individual să poată fi perceput în acest mod şi Rutherford dorea ca studenţii săi să vadă cu ochii lor fenomenul şi să-l folosească.

Rutherford era ferm convins că particulele α — particule grele — vor fi foarte puţin deviate de folia de aur. Şi, într-adevăr, cu majoritatea lor aşa se întîmpla. Dar Marsden a descoperit că unele — aproximativ una din 20 000 — sînt deviate sub unghiuri mai mari de 90°. Îi era aproape teamă să-i comunice acest lucru lui Rutherford şi a trebuit să verifice de cîteva ori dacă nu se comisese cumva vreo greşeală în cursul experienţei. Lui Rutherford nu-i venea să creadă în realitatea rezultatului, spunînd că este cel mai incredibil lucru din cîte i se întîmplaseră în viaţă. Dar pînă la urmă incredibilul a devenit credibil şi în 1911 el se convinsese că aceste rezultate nu puteau fi explicate decît în cazul că particulele α ar fi ajuns la o distanţă ex-

Scanned with CamScanner

trem de mică de o sarcină pozitivă, şi anume la o distanţă mult mai mică decît dimensiunile atomilor. Atomul aurului trebuia să aibă un nucleu pozitiv de dimensiuni mici, iar electronii săi să fie situaţi în afara lui. În felul acesta s-a născut ideea atomului nuclear şi, totodată, o nouă ramură a fizicii — fizica nucleară.

Ideea nu era chiar atît de nouă pe cît s-ar putea crede. Încă înainte de 1906, Johnstone Stoney o enunţase ca pe o explicaţie posibilă a structurii atomului. Dar, după cît se pare, explicaţia a fost dată uitării, cu atît mai mult cu cît ideea lui Stoney fusese pur ipotetică. Rezultatele la care ajunsese Rutherford erau, fără îndoială, de o importanţă incomparabil mai mare.

Pasul următor consta în a găsi din ce este format nucleul. Nucleul radiului putea să se descompună şi să emită nuclee de heliu, fiecare avînd o masă egală cu cea a patru protoni. Dar lucrul acesta nu dovedea că nucleul radiului ar conţine nuclee de heliu. Putea fi vorba de nişte grupuri stabile care ies uşor împreună afară din nucleu. Nici emisia de particule β nu constituia o dovadă că nucleul conţine electroni. Şi totuşi această concepţie s-a menţinut timp îndelungat. Atomii erau presupuşi a conţine nuclee alcătuite din protoni şi electroni strîns legaţi — Dumnezeu ştie cum ! — de alţi electroni, extranucleari, care se roteau în jurul celor dintîi. Numărul total al electronilor trebuia să fie egal cu numărul total al protonilor pentru a se obţine starea de neutralitate electrică.

Această imagine a suferit modificări după ce o nouă particulă fundamentală — neutronul — a fost descoperită în 1932 de Chadwick (n. în 1891).

Scanned with CamScanner

El a fost descoperit prin bombardarea beriliului cu particule α — o altă experienţă de tipul celor efectuate de Rutherford. S-a constatat o radiaţie penetrantă care nu produce ionizare şi de aceea s-a presupus că ar fi o radiaţie γ, mai ales că nu era deviată de cîmpul electric sau magnetic. Chadwick şi-a dat seama că energiile care interveneau nu erau compatibile cu emisia unei radiaţii γ şi a arătat că singura explicaţie posibilă este aceea că radiaţia reprezintă un fascicul de particule fără sarcini, ale căror mase sînt egale cu cele ale protonilor. Emiţînd în cursul procesului aceste particule, beriliul şi heliul se combinau şi formau carbonul.

A trebuit să omitem în alineatele precedente un mare număr de fapte — prima dezintegrare artificială realizată în 1919 prin utilizarea unor particule α naturale, folosirea în 1930 a particulelor accelerate artificial şi producerea de energii şi mai înalte cu ajutorul ciclotronului în 1931. Acum întreaga problemă devenise mult mai clară ; nucleul putea fi considerat ca o combinaţie de protoni şi neutroni, doi neutroni şi doi protoni formînd un grup stabil de un tip particular ce putea fi ejectat sub formă de particulă α, iar radiaţia β putea fi considerată a fi rezultatul transformării neutronilor în protoni. Dar nimeni nu ştia dacă aceste concepţii corespund realităţii în mai mare măsură decît concepţia electronilor intra- şi extranucleari.

Din acel moment fizica nucleară a cunoscut o dezvoltare rapidă. În 1939 a fost observată prima mărturie a dezintegrării unui nucleu în două părţi aproximativ egale, fenomenul fiind însoţit de o importantă degajare de energie. Fenomenul acesta a fost denumit fisiune nucleară. În 1945 s-a reuşit o

Scanned with CamScanner

fisiune nucleară controlată, de mari proporţii, realizîndu-se simultan o nouă sursă de energie, dar şi bomba atomică. În 1952 s-a realizat fuziunea nucleară — unirea a doi atomi — din nou însoţită de o emisie de energie, mult mai importantă decît în cazul fisiunii nucleare. Rezultatul a fost că s-a obţinut o armă şi mai teribilă — bomba cu hidrogen. Dar pînă în prezent fuziunea controlată nu a putut fi realizată şi omenirea este deocamdată lipsită de avantajele acestui proces — o sursă practic nelimitată de energie.

Aşadar, de la simpla observaţie efectuată în 1896 de Becquerel, a fost parcursă în decurs de şaptezeci de ani o cale lungă. S-a ajuns la cunoaşterea structurii atomului şi au fost abandonate cele mai multe dintre concepţiile lui Dalton despre atom, lăsîndu-se totuşi aproape neatinse teoriile lui din domeniul chimiei. Omenirea a ajuns în pragul unor noi posibilităţi de creare a unor surse practic nelimitate de energie sau, poate, în pragul unei distrugeri totale a vieţii pe planeta noastră.

Scanned with CamScanner

12

Eșecul fizicii clasice

În acest capitol voi încerca să sintetizez cîteva din subiectele discutate în capitolele precedente. Va fi necesar să procedez la o simplificare excesivă, deoarece unele din aceste subiecte nu pot fi explicate în limbajul obişnuit şi va trebui să recurg la utilizarea unor modele despre care majoritatea fizicienilor teoreticieni vor spune că sînt complet nejustificate. Scuza mea este că, după mine, ele ajută la crearea unei imagini utile şi că — corecte sau nu — ele au contribuit la a da fizicii chipul pe care-l are azi. Toţi cei ce studiază fizica ar trebui să ştie cum s-a dezvoltat ea. Cunoaşterea evoluţiei fizicii este poate mai importantă decît cunoaşterea amănunţită a concepţiilor actuale care, în definitiv, se pot şi ele schimba.

Este uimitor cît de departe a reuşit să ajungă fizica pe baza concepţiilor pur clasice. Creierul

Scanned with CamScanner

nostru este astfel construit încît să se poată adapta lumii pe care o putem înţelege şi nu există nici un motiv să presupunem că legile care sînt valabile pentru materia obişnuită ar fi de asemenea valabile pentru lumea atomică sau subatomică. Am fost însă capabili să facem extrapolări uimitoare şi totuşi să găsim un oarecare sens în rezultatele obţinute. Faptul că — pe baza unor legi ale forţelor, similare cu cele care se aplică planetelor — Rutherford a descoperit nucleul atomic lucrînd cu dimensiuni de ordinul a 10^{-13} cm — ne oferă un excelent exemplu în acest sens.

Dar acest gen de extrapolare nu putea să dureze ; concepţiile clasice trebuiau să se năruie într-un domeniu sau altul. Ştim, într-adevăr, că există unele fenomene foarte obişnuite pe care adepţii fizicii clasice nu le pot explica, dar în secolul al XIX-lea ele au fost lăsate deoparte, în speranţa că se vor lămuri cu timpul. Ceea ce însă nu s-a întîmplat.

Unul din cele mai simple fenomene este modificarea culorii unui corp sub acţiunea căldurii. De îndată ce temperatura lui devine mai ridicată decît cea a obiectelor înconjurătoare, corpul începe să radieze mai multă căldură decît primeşte, iar noi simţim această radiaţie prin creşterea temperaturii transmise. La o temperatură de circa 550°C, el începe să emită radiaţii vizibile în extremitatea roşie a spectrului şi, pe măsură ce temperatura creşte, se produce un spectru tot mai larg, pînă cînd — la temperaturi foarte înalte, de circa 1 000°C sau mai mult — corpul devine incandescent. De ce ?

Rayleigh (1842—1919) a fost unul din fizicienii care şi-au dat seama că ne aflăm în faţa unei probleme ce trebuia rezolvată. El a atras atenţia asupra

Scanned with CamScanner

faptului că, atunci cînd energia unui sistem este împărţită în mod egal între toate modurile sale posibile de vibraţie, undelor scurte trebuie să le revină mai multă energie decît celor lungi, pentru simplul motiv că sînt mult mai numeroase, aşa cum se poate observa prin analogie cu undele staţionare în cazul coardelor în vibraţie.

Primele măsurători asupra distribuţiei energiei în spectrele corpurilor solide încălzite au fost efectuate în 1893 de Lummer (1860—1925) şi Pringsheim (1859—1917). Pentru a se obţine rezultate absolute, a fost necesar să se utilizeze un corp negru, adică un corp care absoarbe întreaga radiaţie incidentă. O bună aproximare a acestui fenomen poate fi obţinută folosind un corp gol în interior, în al cărui înveliş este practicat un mic orificiu. Cînd un asemenea corp este încălzit, radiaţia emisă prin orificiu este similară cu cea generată de un corp perfect negru. În cazul în speţă, radiaţia este dispersată de o prismă de fluorină şi detectată cu ajutorul unui bolometru — un dispozitiv care se bazează pe variaţia rezistenţei platinei cu temperatura. Dispozitivul a fost pus la punct în America, în 1881, de către Langley. Cu ajutorul unei punţi Weathstone foarte sensibile au putut fi înregistrate variaţii extrem de mici ale rezistenţei, pretinzîndu-se chiar că dispozitivul ar fi sensibil la modificări ale temperaturii de ordinul a 10^{-6}°C.

Forma generală a rezultatelor obţinute este arătată în figura 61. Există o intensitate maximă la o anumită lungime de undă : ea se deplasează spre lungimi de undă mai mici, pe măsură ce temperatura creşte. Încălzirea la roşu corespunde temperaturii la care limita dinspre lungimile de undă scurte

Scanned with CamScanner

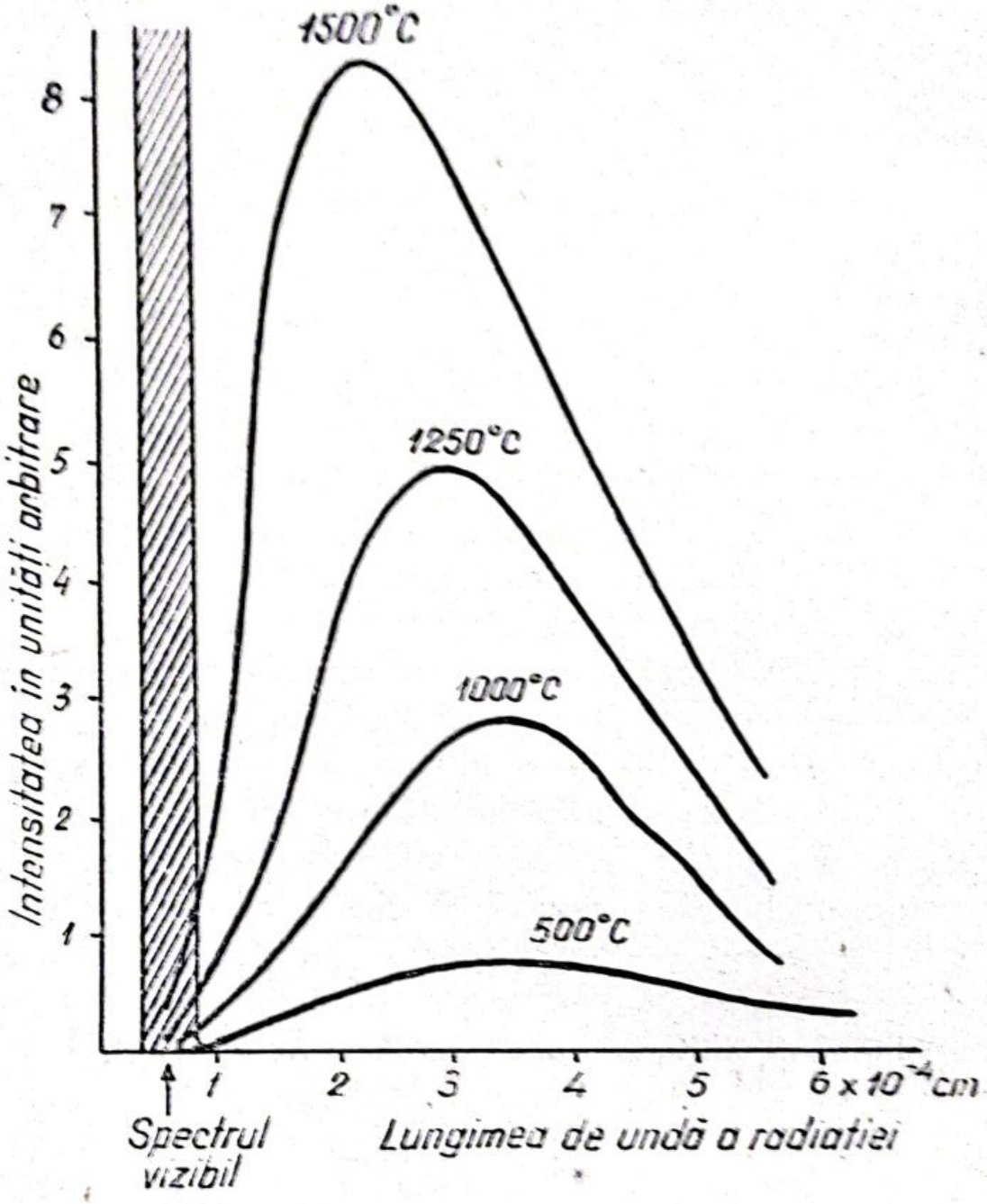


Fig. 61. Intensităţile relative din spectrele corpurilor calde. Se observă că pentru temperatura de 500°C curba nu ajunge pînă la partea vizibilă a spectrului.

Scanned with CamScanner

atinge extremitatea roşie a spectrului ; la temperaturi mai ridicate sînt incluse şi alte porţiuni ale spectrului vizibil. La temperaturile cele mai ridicate este atinsă şi regiunea ultravioletului. Creşterea intensităţii cu scăderea lungimii de undă, în regiunea din dreapta a curbelor, este în concordanţă cu teoriile lui Rayleigh şi Jeans (1877—1946), nu însă şi descreşterea care se observă la lungimi de undă mici. Aceasta constituia o problemă de rezolvat pentru teoreticieni.

O altă problemă era cea pe care o ridicau măsurătorile de călduri atomice. După cum am văzut, Petit şi Dulong au crezut că măsurări precise ale căldurilor specifice vor demonstra că toate elementele au aceeaşi căldură atomică. Dacă ar fi cunoscut rezultatele, ar fi fost foarte dezamăgiţi. Măsurările ulterioare au arătat că anumite elemente, de pildă carbonul sub formă de diamant, aveau călduri specifice mult mai mici. Şi cu toate acestea, teoria părea să confirme că toate căldurile atomice trebuie să fie identice.

Este normal să te simţi dezamăgit văzîndu-te în situaţia ca după ce a fost efectuat un grup de măsurători al căror rezultat este explicat în mod satisfăcător de teorie, alte măsurări să dea rezultate care nu mai sînt în concordanţă cu cele dintîi. O oarecare consolare a constituit-o faptul că în cazul diamantului căldura specifică creşte cu temperatura şi că, atunci cînd se lucrează cu o temperatură suficient de ridicată, diamantul se comportă şi el la fel cu celelalte corpuri. La fel se comportau şi toate celelalte elemente rebele. Dar tot ce s-a obţinut nu a fost decît ca problema să fie împinsă cu un pas înapoi. Care era semnificaţia acestei variaţii

Scanned with CamScanner

cu temperatura ? În fizica clasică apăruse o nouă problemă.

O a treia problemă a fost comportarea ciudată a anumitor substanţe atunci cînd erau expuse la lumină. Încă din 1839, A. C. Becquerel (1788—1878) — bunicul celui care a descoperit radioactivitatea — observase că una din celulele sale electrice îşi schimba forţa electromotoare atunci cînd lumina cădea pe unul din electrozi. În 1873 Willoughby Smith era preocupat de comportarea inconstantă a unui circuit electric. În cele din urmă a pus-o pe seama vremii : atunci cînd strălucea soarele, o bucată de seleniu, introdusă în circuit, îşi modifica proprietăţile. În 1887, în timp ce îşi efectua experienţele legate de transmisia undelor electromagnetice pe care le descoperise de curînd, Hertz a observat că scînteile induse se produc mult mai uşor atunci cînd eclatorul putea fi „văzut“ dinspre partea eclatorului emiţător.

Lucrul acesta s-a dovedit a fi o altă mare descoperire a lui Hertz. Ea era cu atît mai ieşită din comun cu cît existau şi multe alte variante posibile care ar fi putut explica ceea ce, în definitiv, este un efect minor. Pentru a stabili dacă efectul se datora luminii, el a introdus un obstacol opac între cele două scîntei ; cea indusă era cert mai slabă. Apoi a repetat experienţa cu o bucată de sticlă ; efectul a fost *acelaşi*. Lucrul era într-adevăr uimitor, pînă cînd şi-a dat seama că sticla nu lasă să treacă decît spectrul vizibil ; cu o substanţă cum este cuarţul — care lasă să treacă razele ultraviolete — scînteia indusă nu era mai slabă. Aşadar, efectul se datorează radiaţiei ultraviolete emise de scînteia inductoare. El poate fi acum şi mai bine

Scanned with CamScanner

demonstrat iluminînd eclatorul cu radiaţii ultraviolete.

Toate aceste efecte nu ridicau însă probleme serioase pentru fizica clasică. Ele nu erau mai stranii decît fusese, de pildă, descoperirea făcută de Faraday că un cîmp magnetic poate schimba planul de polarizare al unui fascicul de lumină. Nu era exclus să fie găsită o cale pentru a explica aceste efecte în termenii fizicii clasice.

A existat însă un alt efect şi mai derutant. In 1888 Hallwachs (1859—1922) a constatat că lumina ultravioletă poate descărca un electroscop încărcat negativ, dar nu şi un electroscop încărcat pozitiv. Cum se explica această deosebire? Motivul este următorul : dacă există un exces de electroni, lumina ultravioletă le poate transmite suficientă energie pentru a „fugi", lucru care nu este însă posibil în cazul unui deficit de electroni.

Această explicaţie a ceea ce denumim azi efectul fotoelectric a devenit evidentă după descoperirea electronului şi astfel a început lupta pentru o înţelegere completă a fenomenului. Lucrările efectuate de Thomson în 1889 au demonstrat că particulele emise sub acţiunea luminii ultraviolete sînt electroni. El a determinat intensitatea cîmpului magnetic care împiedica particulele să ajungă la o placă încărcată cu un potenţial pozitiv situată la o distanţă anumită în vid. Valoarea găsită de el pentru raportul e/m a fost de $7{,}3 \times 10^7$ coulombi g^{-1}. Era valoarea corespunzătoare electronilor. El a arătat că într-un tub vidat valoarea curentului nu se reducea atît de brusc la zero cum se aşteptase şi a indicat drept *una* dintre explicaţiile posibile faptul că electronii sînt emişi cu viteze finite.

Scanned with CamScanner

În 1900 Lenard a obținut printr-o metodă oarecum diferită rezultate care confirmau această explicație, iar cu ajutorul aparatului său el a reușit să lămurească problema dacă viteza de emisie este sau nu finită. În cazul cînd electronii sînt emiși cu o viteză suficientă, ei pot atinge celălalt electrod, chiar dacă acesta este la un potențial negativ, iar viteza poate fi determinată din tensiunea necesară pentru a reduce curentul la zero. Apoi a observat un fapt uimitor: viteza electronilor este independentă de intensitatea luminii. O iluminare mai intensă ducea la emisia mai *multor* electroni, dar nu a unor electroni *mai rapizi*. Viteza depinde de lungimea de undă a luminii și este mai mare în cazul lungimilor de undă mai mici. Fizica clasică nu poate explica în ce mod o energie mai mare a fasciculului incident nu are drept rezultat emisia unor electroni cu energii mai mari.

O a patra problemă rezulta din simpla observare a spectrelor liniilor provenite din descărcările în gaze. Pînă acum noi am considerat acest fenomen drept un fapt experimental și, în plus, deosebit de util. Dar fizica clasică nu ne oferea nici o cheie pentru interpretarea lui. Era clar că în atomi existau oscilatori, iar aceștia erau probabil electroni. Dar nu exista o explicație a observațiilor efectuate în 1885 de către Balmer (1825—1898), care a stabilit că o formulă simplă

$$\nu = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

exprimă relația dintre unele linii din spectrul hidrogenului. Aici ν reprezintă frecvența liniei (viteză/lungime de undă), m este un număr întreg, iar

Scanned with CamScanner

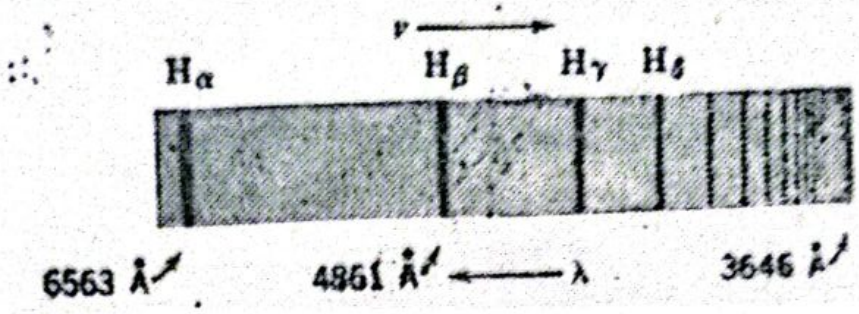


Fig. 62. Seria liniilor Balmer în spectrul hidrogenului.

R este o constantă cunoscută mergînd pînă la şapte cifre semnificative. Ulterior, alţi cercetători au constatat serii foarte asemănătoare în spectrul hidrogenului, dar seria lui Balmer este singura ale cărei linii principale se situează în regiunea vizibilă (fig. 62).

Problemele menţionate mai sus erau cele mai importante dintre problemele care la sfîrşitul secolului al XIX-lea îşi aşteptau rezolvarea. Cea dintîi a fost lămurită prima — respectiv problema corpului negru. Dar, după cum vom vedea, lucrul acesta nu s-a produs dintr-odată şi nici cu suficientă claritate pentru ca soluţia să pară corectă şi inatacabilă.

Planck (1858—1947) şi-a dat seama că, dacă se caută o explicaţie pentru scăderea intensităţii constatate în cazul lungimilor de undă mai mici, va trebui găsit prin ce „metodă" este micşorată energia la aceste lungimi de undă. Cum ar proceda un om de stat pentru a reduce consumul anumitor bunuri? Ar institui asupra lor un impozit pentru ca ele să coste mai mult. Acest lucru nu înseamnă că s-ar cheltui mai mulţi bani pe ele, deoarece numai un număr restrîns de persoane ar putea plăti un preţ mai ridicat. În mod similar, Planck a emis

Scanned with CamScanner

în 1900 ideea că energia undelor ar putea fi împărțită în mici pachete (cuante), a căror mărime să fie proporțională cu frecvența ν. El a folosit simbolul h — cunoscut azi sub denumirea de constanta lui Planck — pentru factorul de proporționalitate. Planck a verificat consecințele ideilor sale, demonstrînd că ele concordă perfect cu rezultatele obținute de Lummer și Pringsheim.

Niciodată o teorie nu a fost, probabil, enunțată cu atîtea reticențe. Planck a propus-o doar ca o soluție empirică, sperînd că va fi înlocuită prin una mai bună. De fapt, nimeni nu era prea entuziasmat de ea ; era cu totul ieșită din comun și de aceea a fost lăsată deoparte. Dar nu toată lumea o uitase. În 1905 Einstein a dezgropat-o pentru a explica rezultatele obținute de Lenard în studiul efectului fotoelectric. Într-adevăr, să presupunem că emisia unui electron este efectul uneia din cuantele lui Planck, $h\nu$. Energia electronului nu va depinde decît de energia cuantei, ceea ce explică rezultatul lui Lenard, și anume că energia electronului nu depinde de intensitatea luminii. Cu cît este mai mare această intensitate, cu atît sînt mai numeroase cuantele. De aceea sînt emiși mai mulți electroni. Acum totul concorda, cel puțin din punct de vedere calitativ. Teoria lui Einstein a fost imediat acceptată de majoritatea oamenilor de știință — ce-i drept, nu de toți — și ea a așezat teoria cuantelor pe propriile ei picioare. În felul acesta s-au făcut concomitent doi pași importanți.

Dar teoria lui Einstein necesita o verificare riguroasă, iar rezultatele obținute nu erau suficient de bune pentru a fi pe deplin convingătoare. Efectele de suprafață sînt foarte dificil de luat în con-

Scanned with CamScanner

siderare, întrucît cea mai uşoară contaminare poate produce erori foarte mari. De aceea, în 1916 Millikan s-a hotărît să-şi concentreze eforturile asupra obţinerii unor rezultate cu adevărat certe. El a construit un aparat (fig. 63) în care mai multe suprafeţe diferite pot fi expuse luminii incidente, suprafeţele putînd fi curăţite *in situ* în vid. Metoda sa se baza pe cea folosită de Lenard, adică pe măsurarea potenţialului care împiedică electronii excitaţi pe cale fotoelectrică să ajungă pînă la un electrod. Folosind diferite lungimi de undă, el a reuşit să demonstreze că energia unei cuante reprezenta exact energia electronului plus o cantitate fixă reprezentînd valoarea necesară pentru a scoate electronul din suprafaţă.

În felul acesta, cu ajutorul teoriei cuantelor formulată de Planck au fost rezolvate două din problemele enunţate mai sus. În 1912, printr-o metodă mai puţin directă, Debye (1884—1966) a arătat că această teorie poate explica anomaliile apărute în valorile măsurate ale căldurii specifice. El a pornit de la ipoteza că un corp solid poate fi considerat ca un mediu continuu care poate fi determinat să oscileze în diferite moduri — întocmai ca o coardă întinsă, dar pe trei dimensiuni. Lungimile de undă mai mici au frecvenţe mai ridicate şi, în consecinţă, teoria cuantelor trebuie să afecteze distribuţia energiilor. Teoria lui Debye dă o formă corectă pentru variaţia căldurii specifice în funcţie de temperatură, iar dacă admitem că diferite forţe interatomice pot conduce la diferite curbe, anomaliile observate sînt explicate. Nu este deci de mirare că diamantul, cea mai dură substanţă cunoscută, avînd deci cele mai

Scanned with CamScanner

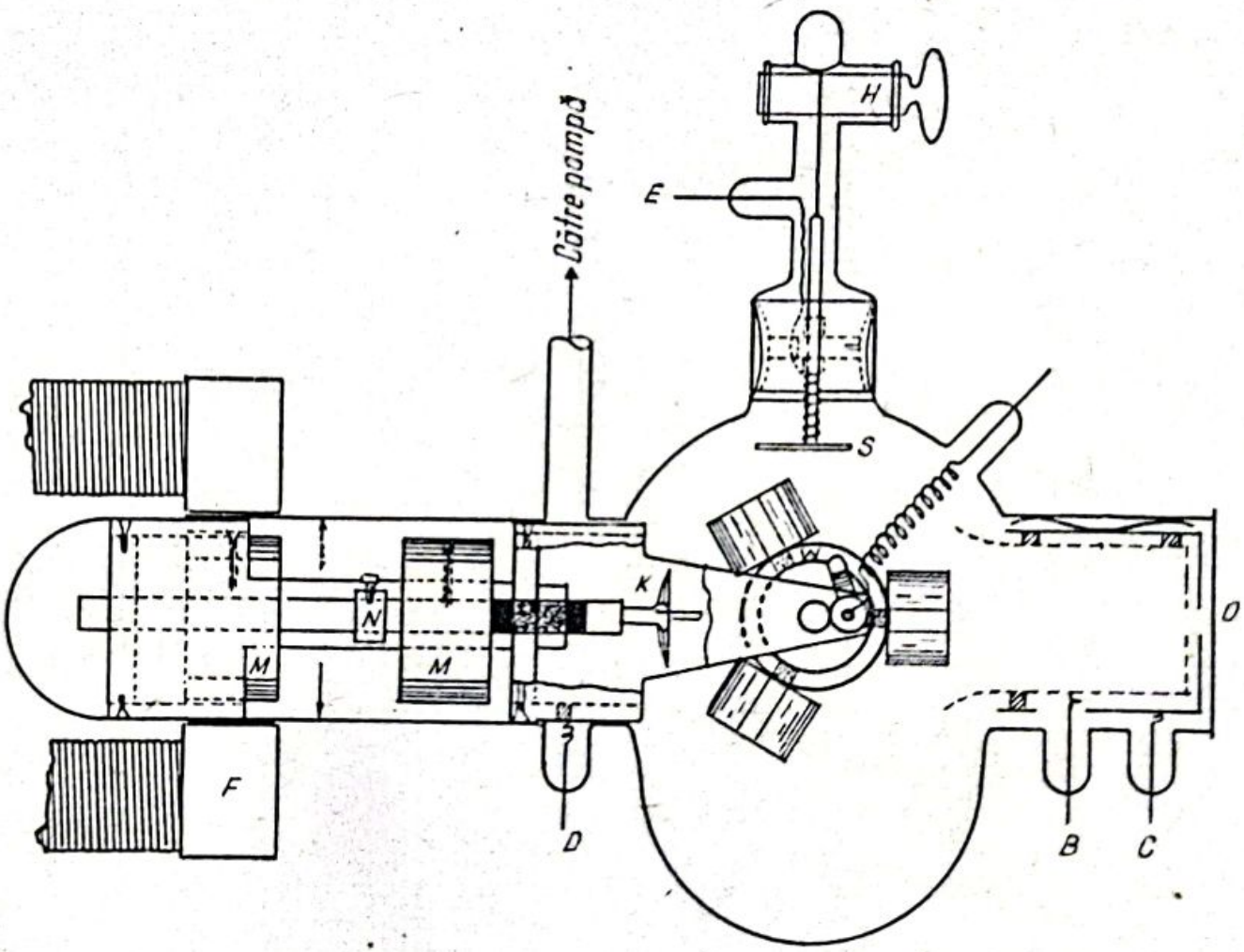


Fig. 63. Aparatul construit de Millikan pentru studiul emisiei fotoelectrice.

Scanned with CamScanner

mari forţe interatomice, prezintă şi cea mai pronunţată anomalie.

Problema existenţei spectrelor de linii s-a dovedit a fi cel mai greu de elucidat. Şi în acest caz, soluţia s-a datorat tot teoriei cuantelor, dar abia în momentul cînd a fost introdusă o altă ipoteză neortodoxă. Un atom de hidrogen conţine un nucleu central şi un electron care se roteşte în jurul lui. Dacă electronul se roteşte în concordanţă cu legile mişcării planetelor — adică dacă forţa de atracţie este invers proporţională cu pătratul distanţei, la fel ca şi forţa gravitaţională —, el ar trebui să aibă o frecvenţă caracteristică. Dar nu ar exista nimic care să menţină această frecvenţă : electronul ar radia energie şi astfel s-ar apropia treptat de nucleu şi pînă la urmă ar cădea pe acesta. Dar atomii de hidrogen nu se comportă aşa ; ei sînt stabili în timp infinit şi emit radiaţii cu frecvenţe foarte specifice.

În 1913 Bohr (1885—1962) a recurs din nou la teoria cuantelor. El a emis ideea că, întrucît electronul nu poate emite fracţiuni de cuante, el nu emite nimic şi rămîne la un nivel fix de energie denumit stare staţionară. Dacă electronul, într-un fel oarecare, este excitat pentru a trece într-o stare staţionară cu o energie mai mare, el poate să emită o cuantă şi să treacă din nou într-o stare staţionară mai joasă. Cu ajutorul unor ipoteze simple şi plauzibile, Bohr a reuşit să demonstreze că cuanta emisă va corespunde exact radiaţiei cu lungimi de undă identice cu cele date de ecuaţia lui Balmer. Acest rezultat era atît de remarcabil încît a fost imediat acceptat, deşi Rutherford îşi exprimase unele rezerve faţă de o teorie care se deosebea atît de mult de concepţiile sale „mecaniciste".

Scanned with CamScanner

În prezent, teoria lui Bohr este totuşi pusă la îndoială. Ea nu este decît plauzibilă şi nu complet convingătoare. Ea nu se verifică în privinţa altor atomi. Unii profesori universitari afirmă chiar că induce în eroare şi ca atare nu ar trebui predată la cursuri. Omiterea ei ar fi însă regretabilă. Înainte de 1913 nu exista concepţia de stări staţionare în atomi ; ea a apărut abia după aceea. Această idee este de o importanţă atît de fundamentală pentru fizică, încît ar fi păcat ca studenţii să nu cunoască peripeţiile prin care s-a trecut pînă a ajuns să fie introdusă şi să creadă că ea a fost pur şi simplu dedusă prin procedee teoretice şi logice. Fizica nu constă exclusiv din cunoaşterea răspunsurilor corecte.

Spectre de linii ar trebui să existe în orice radiaţie electromagnetică. Într-adevăr, curînd s-a constatat că seriile lui Balmer sînt însoţite de altele în regiunea infraroşie şi ultravioletă. Dar, lucru şi mai important, deoarece interpretarea este mai simplă, asemenea serii există şi în regiunea razelor X — aşa cum am mai arătat. Această radiaţie caracteristică, cum este denumită, a fost descoperită de Barkla în 1908, înainte de descoperirea difracţiei radiaţiilor X. Pe Barkla îl interesa împrăştierea radiaţiilor X şi este într-adevăr remarcabil că a reuşit să facă o descoperire atît de fundamentală cu metodele rudimentare care îi stăteau la dispoziţie.

Metoda consta în a găsi care este relaţia dintre intensitatea unui fascicul de radiaţii şi grosimea de material pe care o străbate. Dacă radiaţia este pură, grosimi egale de material ar trebui să reducă intensitatea în aceeaşi proporţie ; reprezentarea grafică a logaritmului intensităţii în funcţie de grosime ar trebui să fie o linie dreaptă (fig. 64 *a*). Dar dacă

Scanned with CamScanner

radiaţia este neomogenă, părţile care pot fi cel mai uşor absorbite ar trebui să fie eliminate, caracteristicile absorbţiei s-ar modifica, iar reprezentarea gra-

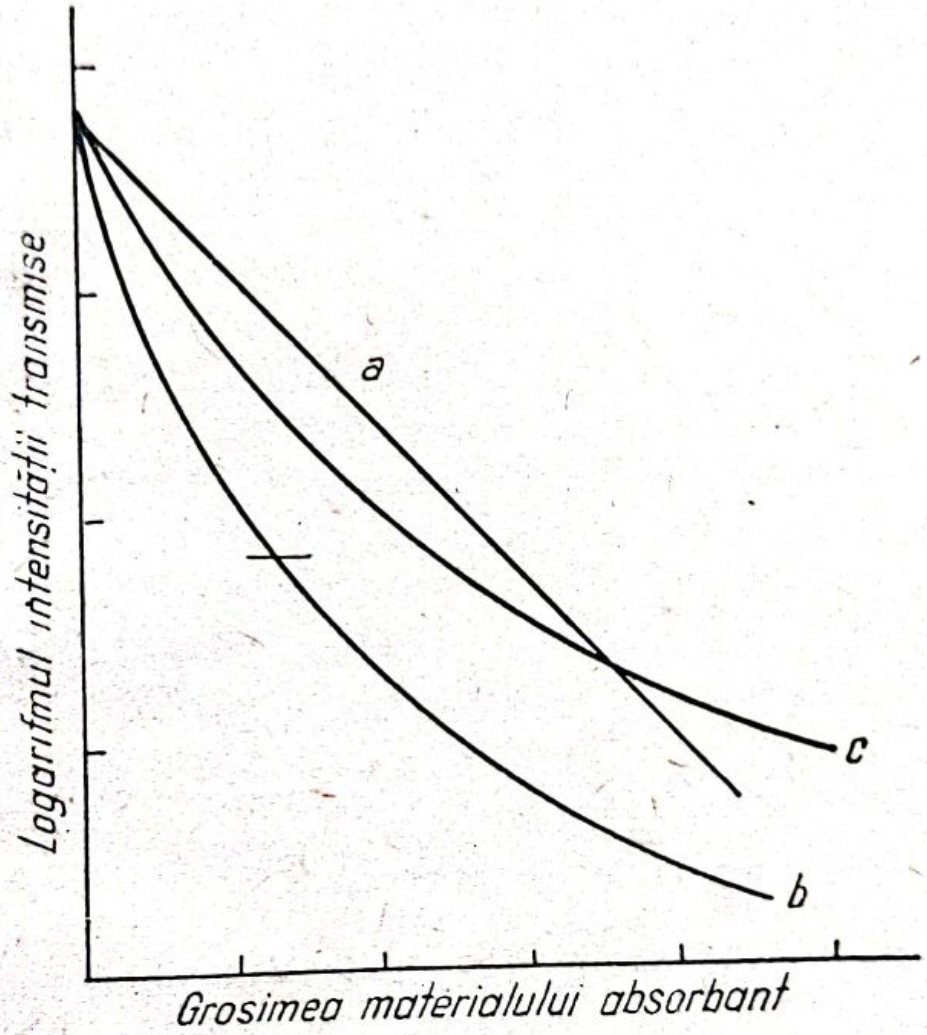


Fig. 64. Tipuri de relaţii între intensitatea transmisă şi grosimea materialului absorbant pentru : *a*) radiaţie omogenă ; *b*) radiaţie eterogenă ; *c*) radiaţie mixtă conţinînd o componentă intensă de lungime de undă mică.

fică nu ar mai fi în acest caz o linie dreaptă (fig. 64 *b*).

În 1908, cu ajutorul acestei metode simple, Barkla şi Sadler au studiat radiaţiile X împrăştiate de diferite elemente. Ei au determinat mai întîi curba

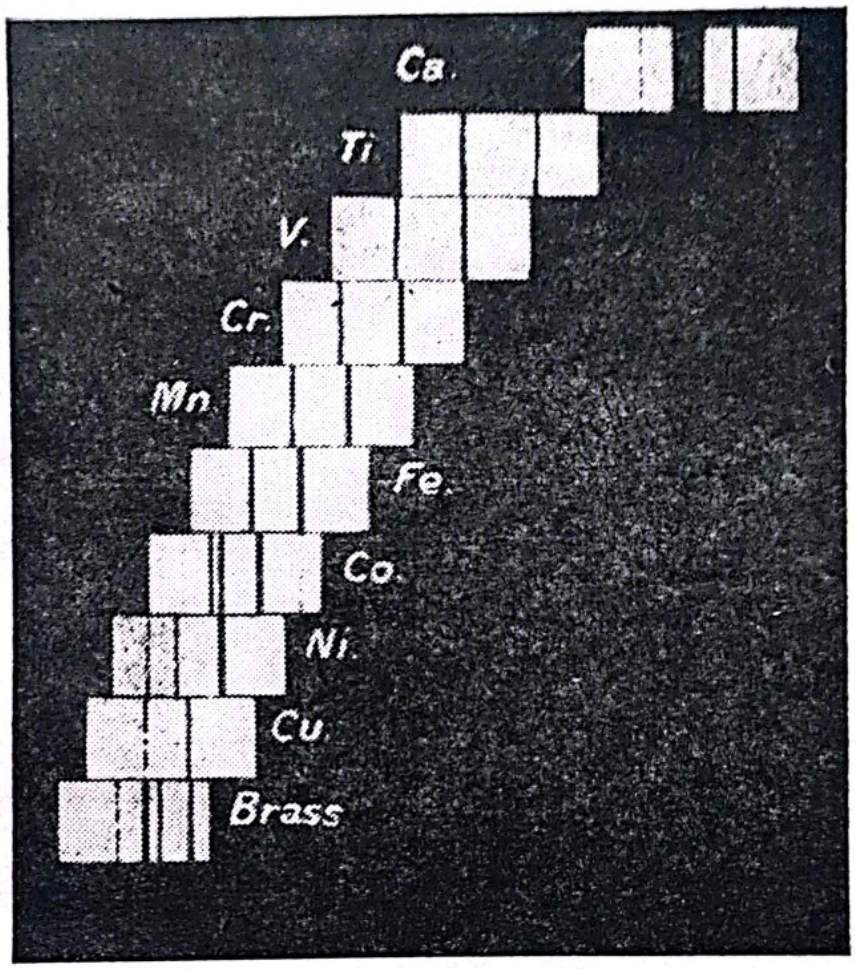
Scanned with CamScanner

de absorbţie a radiaţiei produse de tubul de radiaţii X, trecînd aceste radiaţii prin foi succesive de aluminiu cu grosimea de 0,1 mm ; în felul acesta au stabilit că radiaţia nu era omogenă. Radiaţia împrăştiată de elementele pînă la sulf dădea curbe asemănătoare, ceea ce demonstra că, deşi, firește, mult mai puţin intensă, această radiaţie este de aceeaşi natură. Dar pentru elementele din intervalul Cr-Zn, ei au constatat că de data aceasta curba are tendinţa să se apropie de o linie dreaptă (fig. 64 *c*), ceea ce sugera ideea că există o componentă predominantă. Mai mult, panta porţiunii rectilinii este caracteristică pentru fiecare element, cea mai mică fiind pentru zinc, iar cea mai mare pentru crom. De aici ei au dedus că radiaţia împrăştiată de un element are o componentă caracteristică pentru acel element şi au denumit-o radiaţia K. Utilizînd diferite tensiuni de excitare pentru tubul de radiaţii X, ei au reuşit să găsească radiaţii caracteristice mai penetrante, pe care le-au denumit radiaţii L.

După cum se ştie azi, radiaţiile au fost redescoperite de W. H. Bragg cu ajutorul difracţiei radiaţiei X. Din păcate, pe Barkla nu-l interesa noua metodă, iar descoperirea sa ulterioară a unei radiaţii J — şi mai penetrantă decît radiaţia K — nu a fost niciodată confirmată. Asemenea întîmplări nu sînt neobişnuite în fizică ; se întîmplă ca cercetători mai vîrstnici dintr-un domeniu oarecare să respingă la apariţia lor metodele noi şi instrumentele perfecţionate.

Descoperirea lui Bragg a fost însă folosită de un cercetător mai tînăr, Moseley (1887—1915), care a obţinut fotografii de difracţie ale radiaţiilor X emise

Scanned with CamScanner



⟶ *Lungime de undă crescătoare*

Fig. 65. Spectrele produse de radiațiile X în cazul cîtorva elemente, de la titan pînă la cupru (fotografiate de Moseley). Sînt incluse de asemenea calciul și alama (în limba engleză *brass*).

de diferite elemente. Moseley a demonstrat (fig. 65) că are loc o modificare regulată de la element la element și a reușit să plaseze într-o ordine corectă elementele din tabelul periodic al lui Mendeleev. În particular el a arătat că elementele Fe, Co, Ni trebuie

Scanned with CamScanner

să fie aşezate în această ordine, iar nu în cea rezultată din greutăţile lor atomice (55,8 ; 58,9 ; 58,7).

Ceea ce a realizat Moseley este într-adevăr genial. Într-o epocă în care pînă şi construirea unui tub obişnuit de radiaţii X constituia o performanţă, el a construit unul în care anodul putea fi rotit în aşa fel încît diferite suprafeţe să poată fi expuse radiaţiilor catodice. Şi acest lucru el l-a reuşit în ciuda sfaturilor descurajatoare ale lui Rutherford, care-i spunea că ar trebui să se alăture grupului care studiază radioactivitatea, deoarece existau alţi cercetători ce posedau mai multe cunoştinţe despre radiaţiile X decît şcoala din Manchester. Pentru fizica experimentală a fost o grea pierdere faptul că Moseley a fost ucis în primul război mondial, într-un moment cînd ordinul său de rechemare fusese deja emis. Lucrările lui au aşezat pe o temelie solidă baza fizică a numerelor atomice, care pînă la el nu au fost decît numere exprimînd o ordine de aşezare în tabelul periodic.

Acum ne putem da seama că evenimentele din perioada 1895—1913 nu au reprezentat numai o simplă dezvoltare a fizicii, ci au dat naştere unei schimbări totale — am putea spune unei revoluţii ştiinţifice. Din 1913 încoace — cu excepţia golului provocat de primul război mondial — au apărut numeroase idei ştiinţifice noi şi ne este cu neputinţă să le trecem măcar sumar în revistă. Există totuşi una care trebuie amintită, atît pentru imensa ei importanţă teoretică, cît şi pentru aplicaţiile ei practice. Este vorba de mecanica ondulatorie introdusă în 1924 de către de Broglie (n. în 1892).

Scanned with CamScanner

Ideea lui de Broglie a luat naştere dintr-un principiu fizic de simetrie, principiu care afirmă că dacă există un efect provocat asupra lui B de către A trebuie să existe şi un efect oarecare al lui B asupra lui A. Un raţionament de acest fel a generat convingerea lui Faraday că magnetismul poate produce electricitate. Ideea emisă de de Broglie era că, întrucît teoria lui Planck a demonstrat că undele posedă anumite proprietăţi ale particulelor, nu s-ar putea oare ca şi particulele să posede unele proprietăţi ale undelor ? De Broglie a formulat chiar ipoteza concretă că dacă un corp are un impuls p el se va comporta ca şi cum ar avea o lungime de undă h/p, unde h este constanta lui Planck.

Acest raţionament, în aparenţă absurd, a fost luat în serios de unii cercetători şi în următorii cîţiva ani a fost verificat cu ajutorul a două experienţe diferite, amîndouă demonstrînd că electronii pot fi difractaţi. Prima experienţă efectuată de Davisson (1881—1938) şi Germer (n. în 1896) a fost pînă la un anumit punct accidentală ; cea de-a doua a fost realizată în mod deliberat de G. P. Thomson (n. în 1892), fiul lui J. J. Thomson.

Pe Davisson îl interesase împrăştierea electronilor de către nichel ; el a fost deconcertat de existenţa unor maxime în măsurătorile sale. Din întîmplare, în aparatul său a intrat aer, fapt ce a provocat oxidarea nichelului. El a încercat să îndepărteze stratul de oxid încălzind nichelul în vid, dar atunci cînd a repetat măsurătorile figura de împrăştiere a fost vădit diferită, iar maximele au devenit mai pronunţate. Nichelul se schimbase dintr-o masă de cristale foarte mici în puţine cristale mari !

Scanned with CamScanner

Abia cînd — la o conferinţă ţinută în Anglia — a auzit de ideile lui de Broglie, Davisson a făcut legătura dintre rezultatele obţinute de el şi noua teorie. În consecinţă, împreună cu Germer s-a concentrat asupra măsurării împrăştierii pe un monocristal, folosind în acest scop tensiuni de accelerare de numai 150 V. În 1928 cei doi oameni de ştiinţă au reuşit să stabilească o concordanţă totală cu teoria lui de Broglie.

Metoda folosită de Thomson era mult mai directă. El a folosit electroni accelerați la aproximativ 30 000 V şi i-a trecut printr-o folie subţire de aur. În felul acesta a obţinut figuri circulare (fig. 66) care puteau fi corelate direct cu figurile corespunzătoare de difracţie a radiaţiilor X, demonstrînd astfel — tot în 1928 — concordanţa totală cu teoria.

Nu se cunoaşte încă în ce mod o particulă se poate comporta ca o undă, şi în acest sens ideea lui de Broglie nu a fost nici pînă astăzi — după patruzeci de ani — complet integrată în fizică. Se pare că nu pot fi realizate experienţe în care caracteristicile particulelor şi undelor să poată fi detectate simultan. Fizicienii teoreticieni par să fie totuşi satisfăcuţi şi fără să dispună de o imagine fizică şi ei au elaborat o teorie — mecanica ondulatorie — care a fost mult folosită în rezolvarea unor probleme de fizică şi chimie. Ea înlocuieşte astăzi, de exemplu, teoria lui Bohr privind atomul de hidrogen, dar o prezentare amănunţită a acestei teorii ar depăşi cu mult obiectul prezentei lucrări.

Trebuie totuşi menţionate trei importante rezultate aplicate în practică. Din moment ce particule

Scanned with CamScanner

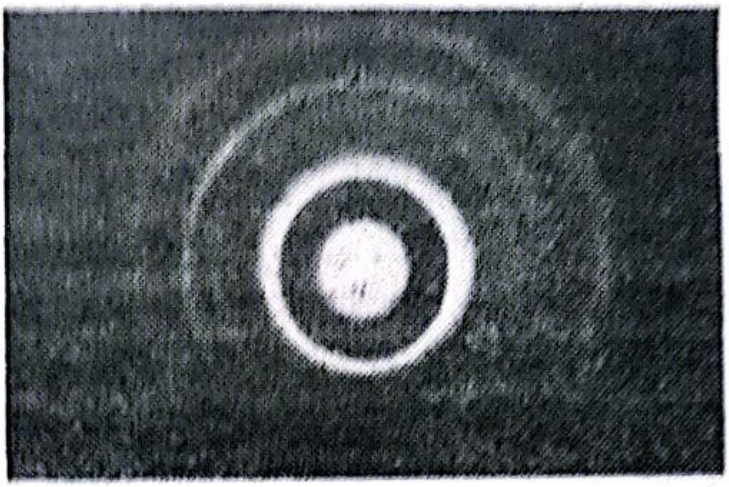


Fig. 66. Difracţia electronilor ce trec printr-o folie de aur (fotografie executată de G. P. Thomson).

cum sînt electronii şi neutronii pot suferi o difracţie, ele pot furniza informaţii de acelaşi gen ca şi difracţia radiaţiilor X. Electronii, avînd lungimi de undă mult mai mici decît cele ale radiaţiilor X, pot fi generaţi cu potenţiale de ordinul a 50 kV şi astfel figurile de difracţie produse de electroni s-au dovedit foarte utile pentru examinarea suprafeţelor, întrucît electronii nu pătrund adînc în interiorul materiei. Neutronii sînt mai puţin accesibili, deoarece pentru generàrea unor fascicule suficient de intense sînt necesare reactoare nucleare. Dar rezultatele difracţiei de neutroni s-au dovedit a fi mult mai revoluţionare decît cele ale difracţiei de electroni. Într-adevăr, neutronii se comportă ca nişte mici magneţi şi în felul acesta pot interacţiona cu acele părţi ale atomilor care produc proprietăţile paramagnetice. În majoritatea atomilor ei interacţionează numai cu nucleul. Interacţiunea magnetică a confirmat azi o idee postulată în 1932 de către Néel

(n. în 1904), şi anume că în afară de feromagnetism, paramagnetism şi diamagnetism mai există şi alte feluri de magnetism. O prezentare completă a lucrărilor lui Néel şi confirmarea acestor lucrări de către difracţia de neutroni ar ocupa însă un spaţiu mult prea mare în raport cu dimensiunile cărţii de faţă.

Cea de-a treia consecinţă a mecanicii ondulatorii este de o importanţă şi mai mare şi constă în punerea la dispoziţia cercetătorilor a unui instrument complet nou, care a făcut posibilă o „retroacţiune" sui generis asupra ştiinţei. Este vorba de microscopul electronic. Dat fiind că electronii pot fi refractaţi datorită devierii traiectoriilor de către cîmpurile electrice şi magnetice, ar trebui să se poată construi „lentile" prin modelarea corespunzătoare a acestor cîmpuri. În felul acesta ar trebui să se poată construi un microscop, şi întrucît s-ar putea obţine lungimi de undă ale electronilor foarte mici (sub 10^{-9} cm), puterea de rezoluţie ar trebui să se situeze sub dimensiunile atomice. Această idee a fost emisă în 1926 de către Busch (n. în 1884). Numeroşi cercetători au preluat ideea, dar au întîmpinat considerabile dificultăţi de ordin tehnic în producerea unor potenţiale stabile şi în crearea unor cîmpuri de formă corespunzătoare. Dar prin 1930 ei au reuşit să obţină o putere de rezoluţie egală cu cea a undelor luminoase, iar astăzi se obţin rezoluţii de aproximativ 10^{-7} cm.

Microscopul electronic prezintă limitări importante. Cu el se pot studia numai probe suficient de subţiri pentru a permite trecerea electronilor şi

Scanned with CamScanner

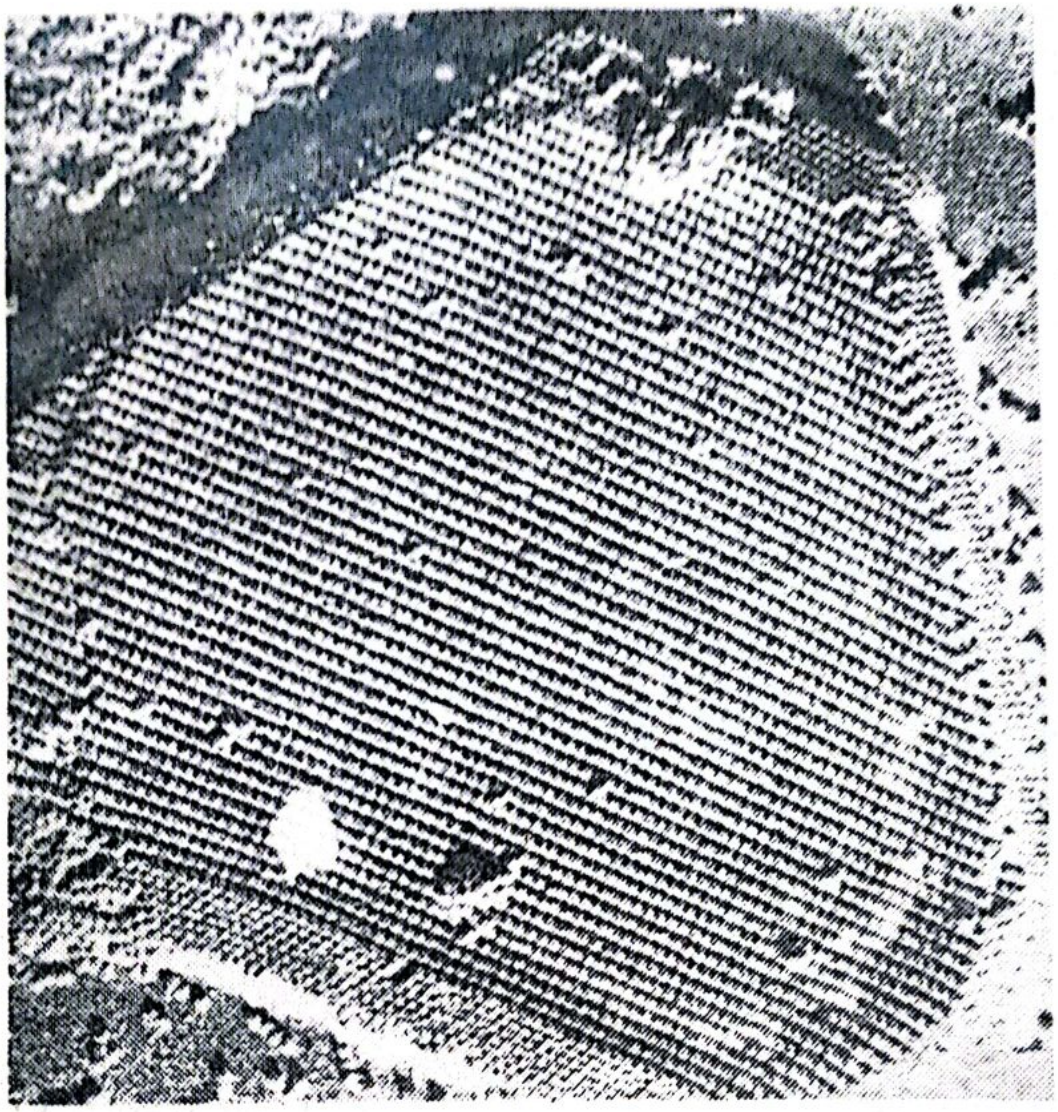


Fig. 67. Fotografia unui cristal de virus al mozaicului tutunului, realizată cu ajutorul microscopului electronic.

care nu sînt deformate în vid. Dar în ciuda acestor dificultăţi, contribuţia microscopului electronic la dezvoltarea ştiinţei a fost imensă. Pentru prima dată a fost posibil să se „vadă" moleculele cristalelor (fig. 67), confirmîndu-se în mod strălucit concepţia despre structura cristalelor emisă de cercetătorii precedenţi. În ceea ce priveşte biologia, se poate spune

Scanned with CamScanner

fără a greşi că microscopul electronic a realizat o adevărată revoluţie.

Cu această ultimă remarcă trebuie să închei acest capitol. Este plăcut să termini o carte în acest mod, scoţînd în evidenţă faptul că progresele realizate în domeniul experienţelor duc la noi teorii care, la rîndul lor, sugerează posibilitatea de construire a unor noi instrumente şi aparate capabile să ducă ştiinţa mai departe. Cît timp va continua oare acest proces ?

Scanned with CamScanner

13
Viitorul

Reluăm întrebarea din capitolul precedent : va continua oare acest progres al fizicii ? Se îndoieşte oare cineva ? De fapt, eu personal sînt cel care se îndoieşte. Orice fizician ştie că extrapolarea este periculoasă, iar dacă vrem să recurgem la ea în domeniul nostru trebuie să fim foarte precauţi.

Fizica este, cert, dinamică, dar dispune ea oare de o sursă de energie lăuntrică suficientă pentru a depăşi inevitabilele momente de stagnare ? Este necesar să ne îndreptăm atenţia în două direcţii — în primul rînd spre fenomenele fizice cărora nu li s-a găsit încă explicaţia, iar în al doilea spre acele domenii care reclamă noi progrese teoretice. Despre prima categorie avem puţine informaţii ; nu există, cert, nimic ce s-ar putea compara cu tubul de descărcare electrică din secolul trecut. În privinţa celei

Scanned with CamScanner

de-a doua categorii, cunoaştem cel puţin trei domenii.

Primul este cel al relaţiei dintre gravitaţie şi electromagnetism. Majoritatea fizicienilor au sentimentul — pe care l-ar fi avut fără îndoială şi Faraday — că trebuie să existe între ele o legătură oarecare, dar pînă acum nici cei mai buni teoreticieni nu au izbutit să o stabilească.

Al doilea domeniu se referă la natura forţelor care menţin coeziunea nucleului. Un grup de particule — predominant pozitive şi limitate la o regiune restrînsă de 10^{-13} cm — ar trebui să fie puternic explozive şi totuşi nucleele sînt, în mod incontestabil, stabile. Ce legi misterioase, învingînd forţele electrostatice cunoscute nouă, operează în interiorul acestor distanţe incredibil de mici ?

În sfîrşit, mai este şi fenomenul vieţii înseşi. Cum se face că conglomeratul de atomi care alcătuiesc corpul nostru nu ne furnizează numai capacitatea de a ne mişca şi a ne reproduce, precum şi toate celelalte însuşiri proprii vieţii, dar ne dă totodată şi capacitatea de a gîndi ? La această întrebare nu poate exista un răspuns simplu, iar toate încercările de a reduce problema la una din cele cunoscute în fizică nu a dat în nici o privinţă rezultate mulţumitoare. S-a emis părerea că „viaţa este o însuşire a moleculelor mari“ şi că dacă vom înţelege cum cresc asemenea molecule — ca polimerii, de pildă — nu va mai fi nevoie să cercetăm care este natura vieţii.

Multor oameni de ştiinţă le vine greu să accepte această ipoteză. Modul de organizare a atomilor în corpul nostru este atît de minunat adaptat nu numai pentru o funcţionare eficientă, dar şi pentru

Scanned with CamScanner

a corecta orice dereglare intervenită, încît este greu de crezut că nu ar fi rezultatul unui plan măreţ. Unii oameni îl vor spune Dumnezeu, dar cu un nume nu rezolvi o problemă. După părerea mea, mai există anumite ramuri ale ştiinţei care, deocamdată, încă n-au fost descoperite, şi unele care, poate, nici nu vor fi curînd descoperite.

Să revenim, de pildă, la magnetism. Să presupunem că nu ar fi existat elemente feromagnetice. Ar fi putut fi descoperite celelalte forme de magnetism? Pentru a le descoperi erau necesare cîmpuri magnetice foarte puternice, iar în acest scop fierul este indispensabil. Am fi fost poate în stare să alcătuim un tabel periodic al elementelor chiar fără să fi cunoscut magnetismul, dar pentru a-l desăvîrşi ar fi fost poate necesară postularea unui fenomen necunoscut.

S-ar putea ca noi să fi ajuns la limita fizicii. S-ar putea ca problema gravitaţiei şi a electromagnetismului să fie prea dificilă pentru noi; s-ar putea ca problema forţelor nucleare să fie prea costisitoare (de pe acum experienţele nu pot fi efectuate decît de cele mai mari state ale lumii); s-ar putea ca problema vieţii să reclame cunoştinţe pe care nu le avem.

Cu toate acestea, mai rămîn multe probleme ale fizicii ce se cer lămurite. Aşa, de pildă, ştim foarte puţin despre forţele care acţionează în atmosferă — de ce se schimbă vremea şi cum iau naştere fulgerele. Vor mai fi necesare minţi agere pentru a rezolva problemele de acest gen. S-ar putea însă ca fizica în ansamblul ei să fi depăşit punctul maxim al dezvoltării. Nu este exclus ca în viitor preocupările să fie îndreptate spre alte domenii,

Scanned with CamScanner

cum ar fi, de exemplu, biologia, în care fizica va avea de jucat un rol important, chiar dacă nu va fi decît unul minor.

Dar s-ar putea să mă înșel. Am folosit într-o mare măsură lucrări scrise acum mai bine de cincizeci de ani de către fizicieni ca Lodge, Hertz și J. J. Thomson. Va consulta oare cineva peste cincizeci de ani această carte pentru a afla care au fost problemele zilelor noastre? Se vor amuza oamenii de atunci pe seama ideilor mele oarecum naive? Sau îi va uimi, poate, clarviziunea mea? Nu o voi ști niciodată.

Scanned with CamScanner

Mulțumiri

În elaborarea prezentei lucrări am fost ajutat de cîteva persoane, cărora doresc să le exprim pe această cale recunoștința mea. Domnișoara Margaret Allen și doamna Edith Midgley au dactilografiat manuscrisul și au făcut cu mult curaj față numeroaselor modificări intervenite în cursul elaborării. Domnul Fred Dawson și domnul Frank Kirkman au refăcut unele dintre experiențele pentru care nu am putut găsi documentație scrisă; fotografiile din carte sînt un omagiu adus răbdării și priceperii lor. În sfîrșit, domnul Le Bek a fost cel care a inspirat cartea și m-a ajutat mult să-i dau forma ei definitivă.

Pentru amabila lor autorizație de a reproduce ilustrațiile aduc mulțumirile mele următoarelor persoane și edituri:

George Allen and Unwin Ltd., London, pentru figurile 8, 29 și 30 (din *A History of Science, Technology and Philosophy in the XVI-th and XVII-th Centuries* de A. Wolf) și pentru figura 60 (din *Collected Papers of Lord Rutherford of Nelson).*

Cambridge University Press, London, pentru figurile 57, 58 și 59 (din *Radio-Activity* de E. Rutherford, ediția a II-a, 1905).

Scanned with CamScanner

N.V.A. Oosthoek's Uitgeversmaatschappij, Utrecht pentru figurile 45, 46 și 47 (din *Fifty Years of X-Ray Diffraction*, sub redacția d-lui P. P. Ewald, 1962).

Charles Griffin Co. Ltd., London, pentru figurile 6 și 9 (din *A University Textbook of Physics*, vol. III — *Heat* de J. H. Awbery).

G. Bell and Sons Ltd., London, pentru figurile 54, 55, 56 și 66 (din *The Crystalline State*, vol. I, sub redacția lui W. L. Bragg, 1933) și pentru figura 38 (din *Faraday's Diary*, vol. IV).

Dover Publications Inc., New York, pentru figurile 18 și 19 (din *Opticks* de Sir Isaac Newton, 1952, pe baza ediției a 4-a, London, 1730).

The Royal Society, London, pentru figura 21.

Longmans, Green Co., Ltd. pentru figurile 50, 51 și 52 (din Thomson, *Rays of Positive Electricity and Their Application to Chemical Analyses*) și pentru figurile 43 și 65 (din Kaye, *X-Rays*, 1926).

Harvard University Press, Cambridge, Mass., pentru figurile 2, 3, 28, 31, 34, 36, 37, 41 și 49, reproduse cu autorizația editurii din *Source Book in Physics* de William Francis Magie; (copyright 1935, 1963 — președintele și membrii colegiului Harvard).

Macmillan, New York, pentru figura 72 (din *Atomic and Nuclear Physics* de R. S. Shankland, 1955).

Profesor R. W. G. Wyckoff pentru figura 67.

H. L.

Scanned with CamScanner

Indice

Scanned with CamScanner

A

Abbe, 117 şi urm., 218 şi urm., 224.
Aberaţie cromatică, 114.
Absorbţia radiaţiilor X, 260.
Academia de Ştiinţe a Franţei, 76.
Acceleraţie, 11 şi urm.
Ampère, 155, 162, 165.
Analiză spectrală, 110, 232, 236.
Andrews, 72.
Anion, 203.
Arago, 95 şi urm., 155, 162.
Aristotel, 9, 13, 30.
Armonice, 81.
Aston, 217 şi urm.
Aşteptare, 102.
Avogadro, 69 şi urm.
Avogadro, numărul lui —, 73, 214.

B

Balanţă de torsiune, 25, 131, 157, 176.
Balmer, 252, 258 şi urm.
Barkla, 189 şi urm., 221, 258 şi urm.
Barometru, 35, 61, 88.
Bartholinus, 88.
Becquerel, A. C., 250.
Becquerel, A. E., 172, 227.
Becquerel, A. H., 277 şi urm., 233, 244, 250.
Bennet, 151.
Benoît, 131.
Black, 44, 49, 54.
Bobină de inducţie, 166, 185.
Bohr, 257 şi urm., 264.
Bolometru, 242.
Boltzmann, 53, 69 şi urm.
Bomba atomică, 244.
Bomba cu hidrogen, 244.

Scanned with CamScanner

Boyle, 59 şi urm., 196.
Boyle, legea lui —, 59 şi urm., 70 şi urm., 77.
Bragg, W. H., 189, 219, 260.
Bragg, W. L., 219, 222 şi urm.
Bragg, legea lui —, 219 şi urm.
Bragg, unghiurile lui —, 219.
Brahe, 18, 113.
Broglie, de, 262 şi urm.
Brown, 56.
Busch, 266.

C

Caloric, 40 şi urm., 56.
Cannizzaro, 69.
Carlisle, 152 şi urm.
Carnot, 40, 67.
Cation, 203.
Cavendish, 23 şi urm., 133, 145 şi urm.
Căldura atomică, 47, 52, 249.
Căldura latentă, 49, 199.
Căldură specifică, 43 şi urm., 77, 249 şi urm., 255.
Celsius, 43.
Celulă voltaică, 50.
Chadwick, 242.
Charles, 65.
Charles, legea lui —, 65, 70 şi urm.
Ciclotron, 243.
Clément, 72.
Coerenţă, 99, 132.
Colladon, 163.
Combinaţie chimică, 201, 226.
Constantă de gravitaţie, 27.
Constanta gazelor, 71.
Corp negru, 247, 253.
Coulomb, 25, 144 şi urm., 161, 175.
Coulomb, legea lui —, 145.
Crookes, 205.
Culoare, 101 şi urm.
Curent alternativ, 166.
Curie, Marie, 228, 235.
Curie, P., 228.

D

Dalton, 36 şi urm., 40, 46, 63 şi urm., 69, 217, 226, 245.
Davisson, 263.
Davy, 42 şi urm., 49, 201.
Debye, 255.
De Magnete, 139.
Densitate, 15.
Densitatea aburului, 68.
Densitatea atmosferei, 31 şi urm.
Densitatea Pământului, 23, 27.
Descartes, 18, 88, 105.
Désormes, 72.
Dialoguri, 12.
Diamagnetism, 167 şi urm., 266.
Difracţie, 92 şi urm., 103, 119, 211.
Difracţia electronilor, 265.
Difracţia neutronilor, 266.
Difracţia radiaţiilor X, 193, 218, 260.
Difracţie, reţea de —, 124 şi urm., 172, 192 şi urm.
Dilatarea gazelor, 61.
Dublă refracţie, 88.
Dufay, 142.
Dulong, 45 şi urm., 53 şi urm., 249.
Dumnezeu, 271.

Scanned with CamScanner

E

Echipartiția energiei, 53 și urm., 69, 247.
Echivalentul mecanic al căldurii, 50.
Efectul fotoelectric, 251, 254 și urm.
Einstein, 56, 135, 254 și urm.
Electrochimie, 202.
Electrolit, 202.
Electroliză, 152, 162, 200 și urm., 226.
Electron, 121, 209 și urm., 234, 242, 251 și urm., 257.
Electroscop cu folii de aur, 152 și urm.
Emanația radiului, 234, 237.
Energia cinetică, 21, 42, 54.
Energie potențială, 21, 51.
Etalonul Fabry-Pérot, 128 și urm.
Euclid, 83.
Ewald, 191.
Experiența Michelson-Morley, 130 și urm.

F

Fabry, 128.
Fahrenheit, 43.
Faraday, 155, 159, 162 și urm.
Feromagnetism, 167, 229, 266, 271.
Fisiune nucleară, 244.
Fizeau, 108 și urm.
Fizică nucleară, 243 și urm.
Flogistic, 41, 56.
Forță electromotoare, 151.
Foucault, 108 și urm., 178.
Franje Young, 97 și urm., 127.
Franklin, 143.
Fraunhofer, 110, 117 și urm., 128.
Fraunhofer, liniile —, 110, 128, 173.
Fresnel, 85 și urm., 125.
Friedrich, 192 și urm.
Fuziune nucleară, 244.

G

Galilei, 10 și urm., 18 și urm., 28 și urm., 35, 55, 79 și urm., 104 și urm., 113 și urm.
Galilei, telescopul lui —, 113.
Galvani, 148 și urm., 161, 165.
Gassiot, 176.
Gauss, 148.
Gay-Lussac, 64 și urm., 68.
Goldstein, 215.
Grade de libertate, 53.
Gravitație, 17, 22, 271.
Grimaldi, 92 și urm.
Guericke, von, 33, 59, 75 și urm., 141 și urm.

H

Hallwachs, 251.
Hariot, 87 și urm.
Haüy, 191.
Helmholtz, 82, 204.
Hemoglobină, 223.
Henry, 165, 178 și urm.
Herschel, 110, 173.
Hertz, 180 și urm., 205, 250, 272.

Scanned with CamScanner

Hooke, 92, 116 și urm., 197 și urm.
Huygens, 11, 90, 205.

I

Inducție electromagnetică, 164 și urm.
Interferență, 92, 96, 119.
Interferometru, 128.
Interferometru stelar, 128.
Ipoteză, 28, 69, 104.
Izocronism, 18.
Izotopi, 217.

J

Jeans, 249.
Joule, 45, 49 și urm.
Jupiter, sateliții lui —, 105 și urm.

K

Kelvin, 39, 55, 66, 70.
Kepler, 18, 113.
Kleist, von —, 143.
Knipping, 192 și urm.
Kohlrausch, 176.

L

Langley, 247.
Laplace, 77, 197 și urm.
Laue, 191 și urm., 218 și urm.
Lavoisier, 69.
Legile gazelor, 58 și urm.
Lenard, 208, 252, 254.
Leyda, butelia de —, 143 149, 179.
Lippershey, 113.
Lodge, 272.
Lucru mecanic, 55.
Lumină polarizată, 91, 99 și urm.
Lummer, 247, 254.
Lungime, 15.
Lupă, 112.

M

Mach, 38.
Magdeburg, emisferele de —, 33.
Mariotte, 63.
Marsden, 241.
Martine, 44 și urm.
Masă, 22.
Masă de inerție, 22.
Masă gravitațională, 22.
Maxwell, 170, 175, și urm.
Măr, 16 și urm.
Mărime de ordinul doi, 131, 262.
Mecanică ondulatorie, 82, 262 și urm.
Mendeleev, 261.
Metafizică, 162.
Michell, 27.
Michelson, 130 și urm.
Micrographia, 116, 197.
Microscop, 113 și urm., 127.
Microscop electronic, 121, 266 și urm.
Microscopie cu radiații X, 225.
Millikan, 209 și urm.

Scanned with CamScanner

Mișcarea browniană, 36, 112.
Monocord, 78.
Morley, 130.
Moseley, 260 și urm.
Motor electric, 50, 155.
Muzică, 78 și urm.

N

Nautical Almanac, 107.
Néel, 266.
Neutron, 243.
Newton, 11, 14 și urm., 22, 28, 49, 70, 76 și urm., 88 și urm., 101 și urm., 107 și urm., 114, 121 și urm., 189, 205.
Newton, legile mișcării ale lui —, 11.
Nicol, prisma —, 168 și urm.
Nicholson, 152 și urm.
Noduri, 82, 182.
Nucleu, 242 și urm., 246, 270.

O

Obiectivitate, 44, 208.
Ochelari, 112.
Oersted, 155, 163.
Ohm, 156 și urm.
Ohm, legea lui —, 156 și urm.
Opticks, 29.
Optic plan, 129.
Ordin de mărime, 12, 23, 212.
Oscilator, 181.
Ostwald, 38.

P

Paramagnetism, 167 și urm., 266.
Pascal, 35.
Pavlov, 75.
Părinții pelerini, 142.
Pendul, 19, 53, 79.
Peregrinus, 139.
Pérot, 128.
Petit, 45 și urm., 52 și urm., 249.
Picard, 184.
Pitagora, 78 și urm.
Planck, 253 și urm.
Planck, constanta lui —, 253, 263.
Plane cristaline, 219 și urm.
Plateau, 198.
Pohl, 192 și urm.
Poisson, 95.
Poloniu, 236.
Pompă de compresie, 31.
Pompă de vid, 33 și urm., 59, 75.
Porter, 120.
Potențial electric, 151.
Presiune atmosferică, 31 și urm.
Pringsheim, 247.
Proton, 216, 243.
Ptolemeu, 83 și urm.
Punctul Curie, 229.

R

Radiații catodice, 205 și urm., 234.
Radiații pozitive, 216.
Radiații X, 121, 186, 190 și urm., 234.
Radiații X, caracteristicile lor, 221, 259 și urm.
Radioactivitate, 217, 227 și urm.
Radioactivity, 233.

Scanned with CamScanner

Radiocomunicaţii, 184.
Radiu, 228 şi urm., 242.
Ramsay, 56.
Rayleigh, 204, 246.
Răcire adiabatică, 210.
Răcire, legea lui Newton despre —, 46.
Reflexia radiaţiilor X, 220.
Refracţie, indice de —, 86, 130.
Regim staţionar, 81, 247, 255, 258 şi urm.
Regnault, 72.
Rezistenţă, 161.
Rezoluţie, limita puterii de rezoluţie, 118.
Rezonanţă, 20, 79.
Rive, de la, 165.
Roemer, 105 şi urm.
Roentgen, 186 şi urm.
Rowland, 126.
Royds, 237.
Rumford, 41 şi urm., 49.
Rutherford, 45, 231 şi urm., 246, 257, 262.

S

Sadler, 259.
Sauveur, 81.
Savary, 179.
Scară de temperaturi, 43 şi urm., 65 şi urm.
Scheele, 172.
Seebeck, 156.
Simetrie, 263.
Smith, 250.
Snell, 87.
Snell, legea lui —, 87 şi urm.
Societatea Regală, 30, 59, 161.
Sommerfeld, 192.
Spat de Islanda, 89.
Spectograf de masă, 217.
Spectrometru, 125, 220.
Spectrometru de ionizare, 220.
Spectru, 102, 172 şi urm., 246.
Spectru electromagnetic, 184.
Spectru infraroşu, 173, 195.
Spectru ultraviolet, 172, 195, 248, 249 şi urm.
Spectrul radiaţiilor X, 222.
Stokes, 211 şi urm.
Stoney, 209, 242.
Subiectivitate, 45.
Swift 31.

T

Tabel periodic, 261, 271.
Telescop, 113 şi urm.
Tensiune superficială, 197 şi urm.
Teoria cinetică, 70, 197.
Teoria corpusculară, 90, 189.
Teoria cuantică, 254 şi urm.
Teoria electromagnetică, 170, 174, 184, 270.
Termodinamica statică, 57.
Termoelectricitate, 156.
Thomson, G. P., 263.
Thomson, J. J., 204 şi urm., 215 şi urm., 227, 240, 251, 272.
Timpul, 15.
Torricelli, 35 şi urm., 59, 83.
Townsend, 209 şi urm.
Transformator, 166.
Tub de descărcare, 186, 205, 237, 251, 270.

Scanned with CamScanner

U

Unde electromagnetice, 180 și urm., 195, 231.

V

Viață, 270.
Villard, 236.
Viteza luminii, 105 și urm.
Viteza sunetului, 76.
Vreme, 271.
Volta, 150 și urm.
Volta, pila lui —, 150 și urm.

W

Walter, 192 și urm.
Weber, 176.
Wheatstone, 174.
Wheatstone, puntea —, 174.
Wien, 215.
Wilson, 209 și urm.
Wollaston, 109, 124, 154, 172.

Y

Young, 97, 197 și urm.

Z

Zero absolut, 65 și urm.

Scanned with CamScanner

Cuprins

	Pag.
Prefață	5
1 *Mișcarea*	9
2 *Atmosfera*	30
3 *Căldura*	40
4 *Gazele*	58
5 *Sunetul*	74
6 *Lumina*	83
7 *Instrumente optice*	111

Scanned with CamScanner

8
Magnetismul și electricitatea 137

9
Radiația 171

10
Structura materiei 196

11
Structura atomilor 226

12
Eșecul fizicii clasice 245

13
Viitorul 269

Mulțumiri 273

Indice 275

Scanned with CamScanner

în aceeași colecție:

Mihai Stoian, *Minori în derivă*

Care sînt *adevăratele* surse ale delincvenței juvenile? Cine poartă răspunderea pentru „deriva" unor minori — ereditatea, impulsurile etc. sau erorile educative? Pot fi trasate oare unele căi de prevenire? Descrierea unor „cazuri" din incinta institutelor de reeducare sau de pe filiera care conduce la ele se îmbină în carte cu răspunsuri obținute de-a lungul a zece ani de cercetări...

N. Petreanu, *Republica în conștiința poporului român.*

O idee care a însuflețit poporul în lupta sa împotriva monarhiei. Pașoptiștii și republica. Domnia lui Cuza „un fel de republică". Monstruoasa coaliție și domnia celor patru regi: Carol I, Ferdinand I, Carol al II-lea, Mihai I; de la monarhie constituțională la dictatură regală. Prăbușirea lumii vechi și căderea coroanei; instaurarea republicii populare.

Al. Ionescu, *Vecini cu abisul*

Este o sinteză a marilor probleme ale poluării și denaturării mediului (apă, aer, sol) cu care se confruntă omenirea în plină epocă a progresului tehnic. Lucrarea prezintă, printre altele, sursele de poluare, poluanții principali și consecințele nefaste ale acestora asupra echilibrului biologic al Terrei. Ce este de făcut? Veți găsi unele răspunsuri citind această carte.

Scanned with CamScanner